

INFRASTRUCTURE DE PRODUCTION ET DE
DISTRIBUTION ÉNERGETIQUE
PROJET LOUVAIN EST, AHUNTSIC-CARTIERVILLE,
MONTRÉAL

Solidarité Ahuntsic

Étude d'opportunité

Document final

DOCUMENT FINAL

Proposition d'étude d'opportunité pour le développement d'un réseau thermique pour le projet d'écoquartier Louvain Est, arrondissement Ahuntsic-Cartierville, Montréal

DATE : 13 décembre 2021

NUMÉRO : Louvain20210319

CLIENT : Solidarité Ahuntsic

ADRESSE: 10 780 rue Laverdure, Montréal, Qc, H3L 2L9

RESPONSABLE : Ghislaine Raymond

TÉLÉPHONE : ...

COURRIEL : ghislaine.raymond8@gmail.com

Attention :

Cette étude est composée d'un rapport général (ce document) et de deux rapports techniques (Rapport d'Atis, Rapport de Polytechnique Montréal). Il est recommandé de lire en premier lieu le rapport général.

Équipe de projet

Écohabitation a créé en 2019 une équipe multidisciplinaire d'experts et d'ingénieurs de calibre mondial. Cette équipe cultive les synergies entre les ingénieries qui se trament derrière les solutions de performance énergétique et climatique.

Cette équipe est composée de :

	Mathieu Gillet, M.Sc., DESS Env., MUrb, LEED AP BD+C Denis Boyer, ing. B.Sc., M. Ing.	Rôle et expertise Mandataire principal Simulation énergétique Expertise énergétique
	Robert Laroche, directeur général, Ing. Gheorghe Mihalache, Ing.	Rôle et expertise Ingénierie industrielle et énergétique Évaluation des gisements Conception mécanique
	Michaël Kummert, prof. titulaire, Ing., M.Sc., Ph.D. Tasmin Alameddine, étudiante en M.Sc. A. Kato Vanroy, étudiante en M.Sc. A. Clémence Lavigueur, étudiante en M.Sc.A.	Rôle et expertise Simulation énergétique Ingénierie énergétique et mécanique
	Claude Routhier Simon Tremblay, Ing., LEED AP BD+C	Rôle et expertise Conception mécanique Expertise énergétique

Rappel du mandat

Solidarité Ahuntsic (SA), partie prenante au sein du bureau de projet partagé avec l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville et la Ville de Montréal pour la planification d'un écoquartier situé dans le secteur Louvain Est, désire étudier l'opportunité d'implanter un réseau thermique dans un objectif principal de résilience et de carboneutralité urbaine.

L'organisme Écohabitation a été mandaté pour se faire avec le concours de ses partenaires Polytechnique Montréal, Atis Technologie (et le soutien de Genecor). Plus précisément, le mandat consiste à identifier une ou plusieurs solutions de partage d'énergie opportune pour le quartier et d'étudier les synergies potentielles avec le projet de serre agricole ainsi qu'avec les institutions et complexes limitrophes.

L'étude consiste à :

1. Identifier les sources d'énergie potentielles et technologies inhérentes
2. Dresser un bilan énergétique en continu sur une période annuelle (chauffage, climatisation, rejet)
3. Établir les bénéfices et inconvénients d'un réseau thermique urbain

Portée et limite du mandat

Une étude d'opportunité permet d'évaluer la pertinence de poursuivre une idée. À cette fin, la présente étude a été élaborée pour répondre à deux questions en lien avec le mandat :

- 1- Un réseau thermique permet-il de répondre à un objectif de résilience et/ou de carboneutralité ?
- 2- L'écoquartier doté d'un réseau thermique peut-il aider à une stratégie de décarbonisation plus importante ?

Le niveau de détail des analyses effectuées pour caractériser les gisements énergétiques et simuler les futurs besoins énergétiques dépend de la précision, de l'accessibilité et de la qualité des données. Or le manque de nombreuses données a limité certaines simulations et analyses et obligé à certaines approximations.

Cependant, l'expertise de l'équipe ainsi que les exemples canadiens et mondiaux de réseaux en opération et renseignés ont permis de rassembler des données suffisantes pour répondre au mandat.

Cette étude offre donc une analyse tangible pour 1- mesurer l'impact positif d'un réseau thermique, 2- caractériser des gisements énergétiques sous-estimés, 3- proposer une solution de décarbonisation pour le secteur élargi.

Méthodologie

La méthodologie utilisée pour étudier le comportement d'un réseau thermique et évaluer son impact a reposé sur le travail d'une équipe multidisciplinaire. La résultante est une étude à la fois neutre et objective dont les hypothèses et analyses ont suivi un processus intégré pour un résultat bonifié.

La méthodologie suit un processus simple en 3 étapes :

1. Évaluation des besoins en énergie et définition d'un scénario de référence
2. Identification et évaluation des gisements énergétiques et solutions technologiques
3. Identification du type de réseau et des stratégies d'implantation attenantes

Les objectifs de l'étude reposent sur trois enjeux vécus de l'échelle locale à mondiale :

- la consommation globale d'énergie (économiser et utiliser efficacement l'énergie),
- la carboneutralité (réduction des émissions de GES et de substance appauvrissant la couche d'ozone),
- la résilience (adaptation aux changements climatiques, résistance au choc et stress, réseau électrique d'HQ).

Ils sont considérés comme les principaux à analyser pour traduire l'opportunité ou non d'un réseau, avant même de considérer les enjeux de coûts et de gouvernance.

Le projet visant le développement d'un écoquartier dont les bâtiments seront performants, avec ou sans réseau, il a été décidé de faire reposer le scénario de référence sur des bâtiments répondant à une norme de performance plutôt qu'« au code ». Le rapport ayant une portée didactique, le scénario « au code » a malgré tout été renseigné. L'analyse a donc été construite ainsi :

- 1- Quelle est la performance d'un quartier conforme aux normes minimales de construction (« au code ») ?
 - Scénario *Business as usual* (BAU) sans aucune performance atteinte (objectif uniquement didactique)
- 2- Quelle est la performance d'un quartier atteignant la certification BCZ ?
 - Scénario devenant le scénario de référence avec des performances atteintes sans réseau thermique
- 3- Quel impact aura un réseau thermique sur des bâtiments déjà performants ET sur un secteur déjà bâti ?
 - Évaluation des effets d'un réseau sur l'écoquartier seul
 - Le réseau peut-il devenir une opportunité dans une stratégie de décarbonisation du secteur bâti ?

Acronymes

BAU :	Business as usual	GES :	Gaz à effet de serre
BCZ :	Bâtiment Carbone Zéro	HQ :	Hydro-Québec
BPP :	Bureau de projet partagé (Montréal)	MAMH :	Ministères des affaires municipales et de l'habitation
CAPEX :	CAPital EXpenditures	OPEX :	OPERational Expenditures
CBDCa :	Conseil du bâtiment durable du Canada	PAC :	Pompe à chaleur
CERIU :	Centre d'expertise et de recherche en infrastructures	PDO :	Potentiel de déplétion ozonique
CESM :	Complexe environnemental Saint-Michel	PNUE :	Programme des Nations-Unies pour l'Environnement
CHP :	Cogénération (Combined Heat and Power)	PRG :	Potentiel de réchauffement global
COP :	Coefficient de performance	RdP :	Rivière-des-Prairies
DEEU :	Direction de l'Épuration et des Eaux usées, Service de l'eau, Ville de Montréal	SA :	Solidarité Ahuntsic
DRE :	Direction des réseaux d'eau	SMTEQ :	Sous-Ministériat à la Transition Énergétique du Québec
ECD :	Eau chaude domestique	STEP :	Station d'épuration des eaux usées
ECS :	Eau chaude sanitaire	VRT :	Valorisation des rejets thermiques
EEA :	Éclairage, Équipement et Appareils		
EnR :	Énergies Renouvelables		
FECC :	Fonds d'électrification et de changements climatiques		
FCM :	Fédération canadienne des municipalités		
FMV :	Fonds municipal vert		

Table des matières

Méthodologie	3
Acronymes	4
Table des matières	2
1 Situation initiale – les aménités du secteur	5
1.1 Écoquartier ou site Louvain Est	5
1.2 Secteur Louvain	6
2 Réseau thermique – définition, tendances et bénéfices	8
2.1 Qu'est-ce qu'un réseau thermique ?	8
2.2 Pourquoi un réseau thermique ?	9
2.3 L'évolution des réseaux	10
2.4 Conclusion et premier choix de type de réseau	11
3 Acquisition de données et bilan énergétique – 2 étapes	12
3.1 Évaluation des besoins énergétiques futurs	13
3.2 Identification et évaluation des gisements énergétiques	18
4 Scénarios de réseaux opportuns	31
4.1 Choix de type de réseau	31
4.2 Présentation des scénarios de réseaux et hypothèse de fonctionnement	33
4.3 Résultats des simulations pour les scénarios envisagés	34
4.4 Interprétation et Analyse des résultats	36
4.5 Conclusion et Éléments de résilience	38
5 Informations sur les aspects financiers et élaboration haut-niveau des coûts	40
5.1 Variables générales de coûts à considérer	40
5.2 Estimations des coûts en équipements et génie civil	41
5.3 Coûts d'opportunité	43
5.4 Sources de financement potentiel	45
6 Génie urbain, Croissance organique, et Synergies potentielles	47
6.1 Valorisation des rejets thermiques provenant d'équipements spécifiques	47
6.2 Trottoirs et chaussées chauffants	48
6.3 Potentiel de croissance organique	50
Conclusions et principales recommandations	52
Bibliographie	56
Annexes	57

Annexe 1 : Personnes contacts opportunes	58
Annexe 2 : Pourquoi un réseau thermique ? Avantages et objectifs visés - Généralités.....	59
Annexe 3 : Évolution des réseaux thermiques	65
Annexe 4 : Schémas de sous-stations.....	66
Annexe 5 : Données d'aménagement spécifiques au futur quartier Louvain.....	67
Annexe 6 : Hypothèses de simulation de l'écoquartier selon les scénarios BAU et BCZ.....	68
Annexe 7 : Carte du réseau d'égouts dans le secteur à l'étude et analyse.....	70
Annexe 8 : Composition du réseau d'égout de Montréal	72
Annexe 9 : Caractérisation du résiduel thermique de la centrale Biomont.....	73
Annexe 10 : Évaluation du potentiel thermique géothermique, aérothermique et hydrothermique – les principes	74
Annexe 11 : Fonctionnement de la géothermie à colonne permanente (PCP).....	75
Annexe 12 : Caractérisation du gisement énergétique de la Rivière-des-Prairies.....	76
Annexe 13 : Répartition des coûts par éléments d'un réseau thermique.....	78
Annexe 14 : Détails de l'entente EBI entre le gouvernement fédéral et provincial	79

Liste des figures :

Figure 1: Localisation du futur écoquartier	5
Figure 2 : Projection du futur écoquartier	5
Figure 3 : carte du secteur Louvain	6
Figure 4 : Schéma simple d'un réseau thermique.....	8
Figure 5 : Système énergétique 101	10
Figure 6 : Réseau 4e G	11
Figure 7 : Réseau 5e G	11
Figure 8 : Intensité des besoins énergétiques	15
Figure 9 : Fonctionnement du scénario BCZ (avec la serre) et résultats de simulation – sans réseau	17
Figure 10 : Fonctionnement du scénario élargi (BCZ + serre + Institutions) et résultats de simulation – sans réseau.....	17
Figure 11 : Principe de fonctionnement d'un réseau 4eG	32
Figure 12 : Scénario écoquartier	33
Figure 13 : Scénario élargi.....	33
Figure 14 : Fonctionnement du scénario BCZ (avec la serre) et résultats de simulation – avec réseau	35
Figure 15 : Fonctionnement du scénario élargi (BCZ + serre + bâtiments existants) et résultats de simulation – avec réseau.....	36
Figure 16 : Émissions de GES pour les deux scénarios (haut : BCZ ; bas : élargi).....	37
Figure 17 : Carte du secteur élargi au CESM.....	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Besoins en chaud/froid et rejets thermiques selon les scénarios	14
Tableau 2 : Consommation, demande de pointe et émission de GES par scénario.....	16
Tableau 3 : Consommation, demande de pointe, et émission de GES des différents scénarios de réseau 4 ^e G.....	35
Tableau 4 : Hypothèses de base	41

1 Situation initiale – les aménités du secteur

Le périmètre de l'étude selon le mandat est celui du futur écoquartier Louvain. Cependant, un réseau thermique, tel que nous le décrivons ci-dessous, est une infrastructure qui se veut à la fois et potentiellement, organique et dont les externalités peuvent se cultiver à l'échelle du secteur où il s'implante.

Nous décrivons ainsi le projet de quartier, les institutions et infrastructures limitrophes ayant assurément ou potentiellement un rôle sur le réseau thermique, ou pouvant bénéficier des avantages d'un tel équipement de distribution énergétique. Deux périmètres d'étude sont considérés :

1.1 Écoquartier ou site Louvain Est

Territoire situé entre les rues :

- Louvain à l'Est
- Saint-Hubert au Sud
- Christophe-Colomb au Nord
- la voie de chemin de fer à l'Ouest

Ce territoire en friche est en cours de planification pour la construction d'un futur quartier résidentiel de type écoquartier, un projet piloté par la Ville de Montréal, l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville et le regroupement citoyen Solidarité Ahuntsic, le mandataire de cette étude.

Données sommaires (fournies par le BPP) :

- 840 logements
- Une école primaire (300 élèves) et un CPE (80 places)
- Un centre communautaire et une bibliothèque
- Une petite serre (1380 m²) liée au pôle alimentaire

Figure 1: Localisation du futur écoquartier (crédit : Google)



Figure 2 : Projection du futur écoquartier (crédit : BPP Mtl)

Le développement d'un écoquartier est idéal pour étudier l'opportunité d'implanter un système de partage de l'énergie (réseau ou boucle thermique) et ce, dans un but de performance énergétique, de lutte aux changements climatiques et de résilience urbaine.

Mais un écoquartier se doit aussi de considérer les effets ou les impacts qu'il peut avoir sur le secteur où il s'implante. Ceci nous amène à considérer un territoire d'étude plus vaste.

1.2 Secteur Louvain

Territoire situé entre :

- la rue Émile Journault à l'Est, englobant le complexe sportif Claude Robillard
- la rue Saint-Hubert au Sud
- l'avenue Papineau au Nord, englobant le parc Frédéric Back
- la Rivière-des-Prairies à l'Ouest



Figure 3 : carte du secteur Louvain (crédit : Écohabitation, Google)

Cette délimitation étendue permettra d'intégrer des équipements publics et institutionnels potentiellement opportuns pour le réseau thermique que sont :

- l'école Dominique Savio
- le collège Ahuntsic (incluant l'institut des communications graphiques du Québec)
- le complexe sportif Claude Robillard et l'aréna Michel Normandin
- le parc Frédéric Back incluant la centrale de biogaz Biomont et son réseau thermique existant
- un espace commercial/industriel léger longeant l'avenue Papineau et accoté au parc F. Back.
- l'école Sophie Barat et le collège Grasset (que nous n'avons pas considéré dans cette étude)

Ces équipements seront considérés en matière d'opportunité pour la réduction des consommations énergétiques et d'émissions des GES sur des installations existantes et motivés par le développement du futur quartier.

Aménités du secteur :

La délimitation du secteur s'est faite de manière à y inclure des aménités énergétiques et/ou naturelles pouvant servir le réseau thermique, par exemple en source d'énergie, en puits thermique, etc. Ces aménités ont orienté les choix et les analyses effectuées. La Figure 3 ci-dessus les relate :

- le réseau de collecteurs d'égout incluant l'intercepteur Nord (source et/ou puits de rejets énergétiques)
- la Rivière-des-Prairies (source et/ou puits de rejets énergétiques)
- le poste de transformation Charland (Hydro-Québec) (source de rejet thermique)
- la bande de 790 m entre les rues Émile Journault et Louvain Est comme site géothermique (source et/ou puits de rejets énergétiques)

Chacune des institutions et aménités ainsi que les équipements identifiés seront caractérisés de manière plus détaillée ci-après.

2 Réseau thermique – définition, tendances et bénéfices

Nous présentons dans cette section une définition très sommaire d'un réseau thermique, les tendances et les bénéfices généralement considérés pour ce type d'infrastructures.

L'annexe 2 a été développée pour donner plus de détails sur cette infrastructure et se base sur le travail effectué pour le même type d'étude élaboré pour la ville de Montréal (arrondissement Ville-Marie, secteur des Faubourgs, 2019 [1]).

2.1 Qu'est-ce qu'un réseau thermique ?

Un réseau thermique (encore appelés réseau de chauffage urbain, réseau énergétique, réseau de chaleur) est une infrastructure distribuant à plusieurs utilisateurs clients de la chaleur ou du froid produit par une ou plusieurs sources énergétiques (p.ex. chaufferie) via un système de canalisations de transport de l'énergie. L'énergie calorifique ainsi distribuée est principalement utilisée pour le chauffage/refroidissement des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire; certains réseaux fournissent également de la chaleur à usage industriel.

Le réseau thermique est un système de chauffage/refroidissement à l'échelle urbaine (par opposition au chauffage/refroidissement à l'échelle des bâtiments, dans lequel la chaleur/froid est produite in situ, dans le bâtiment utilisateur ou à proximité immédiate). On parle essentiellement d'un système de distribution d'une énergie produite localement.

Trois éléments composent classiquement un réseau thermique :

- 1- La ou les centrales thermiques qui produisent ou captent l'énergie
- 2- Le système de distribution (ou les canalisations) qui assure le transport du fluide caloporteur aux bâtiments clients.
- 3- Les sous-stations, qui assurent la livraison et le transfert d'énergie du réseau au bâtiment connecté. Chaque bâtiment doit disposer d'une sous-station.

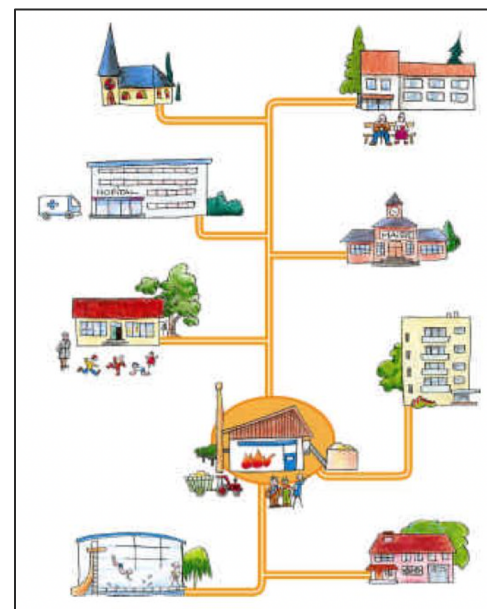


Figure 4 : Schéma simple d'un réseau thermique (crédit : Google Image, libre de droit)

2.2 Pourquoi un réseau thermique ?

Le choix d'implanter des réseaux thermiques se fait pour des raisons spécifiques et stratégiques à chaque territoire (précarité, stabilité du réseau, pollution, etc.). Les réseaux urbains chaud/froid « sont les principaux leviers pour engager une transition énergétique à l'échelle des villes » (PNUE [2]). Les réseaux aujourd'hui développés sont à cet effet principalement orientés vers les énergies renouvelables et/ou la valorisation des rejets thermiques.

La revue de littérature pratiquée en continu par l'équipe de projets est très claire quant aux avantages potentiellement offerts par une telle infrastructure. L'annexe 2 donnera une liste détaillée de ces avantages. Le type et les éléments de conception du réseau thermique dépendront du ou des objectifs désirés et fixés en amont par le promoteur ainsi que de la stratégie à long terme nécessaire pour maximiser, rentabiliser et viabiliser l'infrastructure.

Nous avons convenu qu'un potentiel réseau thermique dans le secteur à l'étude devrait répondre au minimum à trois objectifs prioritaires déterminés en fonction des enjeux exprimés et vécus par les parties prenantes du système énergétique québécois, et de la portée et les détails mentionnés dans le mandat. Ces objectifs sont :

- La **carboneutralité** afin de se départir des énergies fossiles émettrices de GES
- La **résilience** face aux changements climatiques et ses effets
- La **diminution des effets de pointe** sur le réseau électrique amenés à croître dans un scénario d'électrification

Ces objectifs auront un impact sur la conception du réseau et comment il est opéré, car ils affecteront les choix technologiques, le dimensionnement des équipements, l'extension potentielle du réseau, son modèle opératoire, etc.

Des avantages recherchés ou des objectifs comme des rendements financiers prolifiques, une tarification énergétique avantageuse et une rentabilité à moyen terme de l'infrastructure sont très certainement à exclure comme objectifs en regard des tarifs énergétiques pratiqués actuellement au Québec. Par contre, la transition énergétique en cours, le recours à l'électrification massive pour décarboniser le système énergétique québécois, la très probable implantation d'une mesure de tarification à la puissance afin de lutter contre « les effets de pointe » (appel de puissance) très dommageables pour le réseau de distribution d'Hydro-Québec, vont grandement **contribuer à la justification d'un réseau thermique auprès des promoteurs et gestionnaires de bâtiments** dans le court terme (5 ans).

2.3 L'évolution des réseaux

On retrouve principalement les réseaux thermiques dans les centres urbains, mais une tendance à la diminution de leur taille est observée, en particulier grâce à l'essor des énergies renouvelables et du déblocage de fonds nationaux en guise de stratégie de transition énergétique et de lutte aux changements climatiques.

2.3.1 Un changement de paradigme en cours

Le système énergétique d'un pays/territoire se résume en trois points que sont la production, la distribution et la gestion de la consommation. Le paradigme dominant en occident a été celui de l'offre (flèche rouge) qui consiste à assurer la fourniture de l'énergie sans contrainte, à faible prix, de manière très centralisée avec des mégacentrales de production.

Le paradigme émergent (flèche bleue) pour répondre, entres-autres, aux enjeux de la réduction des émissions de GES et de l'intégration des EnR est l'inverse. Le système se construit dans une optique de contrôle aigu des consommations (conservation et efficacité énergétiques) pour, *in fine*, considérer une fourniture en énergie pour remplir les besoins restants.

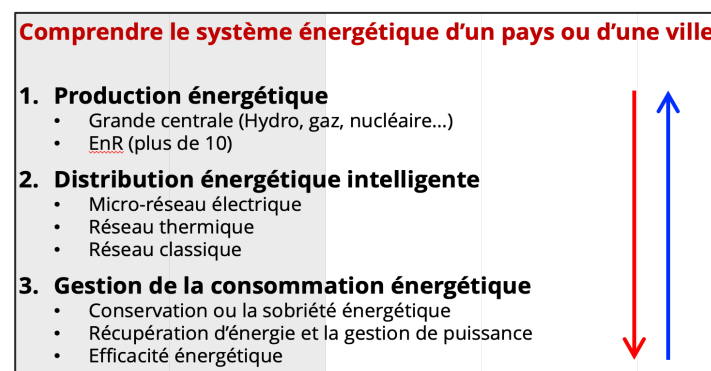


Figure 5 : Système énergétique 101 (crédit : Écohabitation)

2.3.2 Des réseaux plus complexes, mais plus « intelligents »

Les réseaux thermiques ont suivi cette évolution et deviennent de ce fait une infrastructure opportune pour intégrer les sources d'énergie propre (EnR, rejets thermiques) qui sont de nature très territoriale, voire locale. Les technologies telles que les pompes à chaleur (ou thermopompes) ont par ailleurs contribué à leur adaptation aux nouvelles réalités.

L'évolution des réseaux dans le temps (voir annexe 3) se traduit par :

- Une efficacité énergétique des clients (consommateurs) qui augmente nettement
- Une nette diminution des températures du fluide caloporteur (souvent de l'eau) permettant de fortes économies en coût d'implantation (tuyaux moins isolés, moins d'attention sur les pertes énergétiques).
- Une multiplication des sources énergétiques pour alimenter la ou les centrales thermiques.

La baisse des températures du fluide caloporteur permet de valoriser des sources d'énergie de type chaleur fatale (ou rejets thermiques) pouvant parfois être de moins grande qualité et surtout d'intégrer ces nombreuses nouvelles sources de production d'énergie de plus basse qualité (aérothermie, géo/hydrothermie, solaire thermique).

Pour faire face à une littérature encore ambiguë pour différencier les 4^e et 5^e générations, nous précisons que :

- Les réseaux de 4^e génération (4^e G) ou réseau centralisé : réseaux avec une boucle d'eau chaude et d'eau froide (4 tuyaux) — température du caloporteur située entre 50 et 80 °C (boucle chaude), 4 et 8 °C (boucle froide).
- Les réseaux 5^e génération (5^e G) ou réseau décentralisé : réseaux avec une boucle d'eau dite mitigée (ou mélangée) (2 tuyaux) — température du caloporteur située entre 5 et 40 °C.

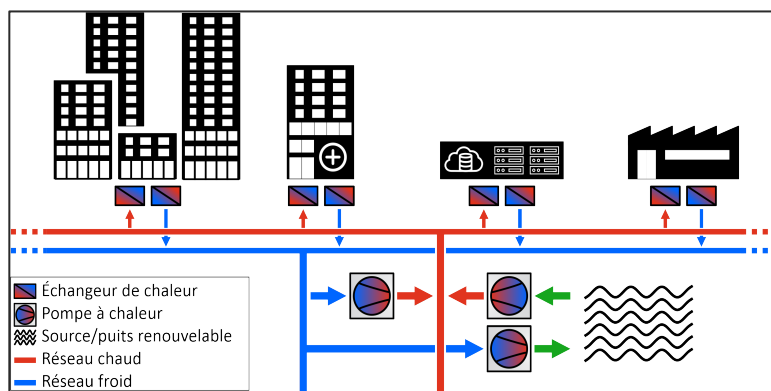


Figure 6 : Réseau 4e G (Crédit : Polytechnique Montréal)

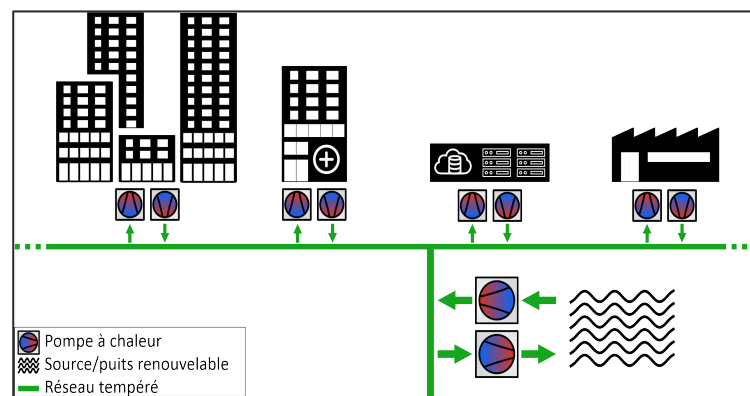


Figure 7 : Réseau 5e G (Crédit : Polytechnique Montréal)

2.4 Conclusion et premier choix de type de réseau

Un réseau de 5^e génération est réalisable dans le contexte Louvain, que ce soit à l'échelle du futur quartier voire même à l'échelle du secteur, chaque bâtiment devenant une source d'énergie et un consommateur en même temps. Si une nette économie est réalisée en coût d'immobilisation (2 tuyaux au lieu de 4, tuyaux moins isolés, plus petite centrale...), les coûts de maintenance et d'opération sont quant à eux beaucoup plus élevés.

On se dirigera pour le reste de l'étude vers un modèle 4^eG. Nous y reviendrons dans la section 4 ci-dessous.

3 Acquisition de données et bilan énergétique – 2 étapes

Nous présentons dans cette section deux étapes fondamentales à l'analyse, à savoir :

1. l'évaluation des besoins (la future demande) qui nous permettra d'élaborer le scénario de référence
2. l'évaluation des gisements énergétiques potentiels et opportuns pour alimenter le réseau

De cette manière, nous serons à même de regarder l'opportunité d'implanter un réseau thermique ou non.

Important :

Les réseaux thermiques ont tendance à être perçus comme étant en compétition avec la conservation et l'efficacité énergétiques des bâtiments. Nous l'avons précisé en section 2 sur l'évolution des réseaux, mais cette concurrence n'a plus lieu d'être. Les réseaux sont désormais censés améliorer encore plus les performances des bâtiments déjà atteintes par des mesures de conservation et d'efficacité telles que l'isolation, l'étanchéité, la fenestration, etc. Nous précisons également que les réseaux peuvent faire partie d'une stratégie de décarbonisation d'un secteur déjà bâti.

Pour les fins de l'étude, nous avons donc décidé d'organiser notre analyse comme suit :

- 1- Évaluation des besoins avec un quartier rencontrant les normes minimales de construction – ou – Quelle est la performance d'un quartier construit « au code » ?
 - Scénario *Business as usual* (BAU) sans aucune performance atteinte (objectif uniquement didactique)
- 2- Évaluation des besoins avec un écoquartier visant la certification Carbone zéro (BCZ) – ou – Quelle est la performance d'un quartier atteignant la certification BCZ ?
 - Scénario avec des bâtiments ciblant la norme BCZ qui deviendra le scénario de référence
 - Il s'agit de performances atteintes sans réseau thermique et mesurées par rapport au BAU
 - Nous intégrerons également un scénario intégrant les besoins des bâtiments limitrophes
- 3- Évaluations des effets d'un réseau thermique alimentés part des gisements limitrophes et opportuns – ou – Quel impact un réseau thermique aura sur des bâtiments déjà performants ET sur un secteur déjà bâti ?
 - Évaluation et caractérisation des gisements d'énergie
 - Évaluation des effets d'un réseau sur l'écoquartier seul
 - Évaluation et précision des opportunités d'un réseau implanté à l'échelle du secteur

Les deux derniers points seront traités dans la section 4.

3.1 Évaluation des besoins énergétiques futurs

Nous présentons donc ici les trois évaluations des besoins énergétiques des bâtiments du futur quartier Louvain : quartier BAU, écoquartier BCZ, et écoquartier BCZ élargi. Ce dernier nous permettra de voir si un réseau thermique pourrait aider une stratégie de décarbonisation du secteur bâti dans l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville. Dans les trois cas, le futur quartier sera pourvu d'une serre de production agricole d'environ 1 400 m².

Les trois évaluations serviront :

- à générer un profil des besoins annualisés en chaleur et en froid ;
- à présenter la performance atteinte avec des bâtiments atteignant la norme BCZ (comparaison didactique)
- à développer le scénario de référence qui permettra d'analyser les effets d'un réseau thermique

Cette triple évaluation est fonction des données fournies par Solidarité Ahuntsic (annexe 5) et par les institutions que sont le collège Ahuntsic et le complexe Robillard (incluant l'aréna).

3.1.1 Méthodologie et Paramètres des scénarios BAU, de référence (BCZ), et élargi

La simulation énergétique des bâtiments repose sur un très grand nombre de paramètres, depuis la géométrie des bâtiments ou la résistance thermique des composantes de l'enveloppe jusqu'au comportement des occupants et aux détails de régulation et de performance des systèmes de chauffage et de climatisation. Dans le cas de bâtiments futurs, ces paramètres reposent sur des hypothèses informées par le plan d'ensemble (superficies, hauteurs) et par l'expérience acquise lors de projets similaires récents.

Les données permettant les simulations des besoins énergétiques sont suffisantes, mais nécessiteraient un niveau de détail supplémentaire (affectation des mixités et répartitions plus précises des usages par bâtiments de la zone étudiée) afin de peaufiner les simulations, et ce, même si le futur quartier sera très homogène en termes de mixité.

À cet effet, une simulation a été effectuée par Polytechnique Montréal en utilisant une méthodologie de modélisation énergétique urbaine des bâtiments (UBEM – Urban Building Energy Modeling), ainsi que par Écohabitation pour la définition des paramètres pour les nouveaux bâtiments performants. Cette simulation permet de définir des paramètres précis pour spécifier un scénario de référence. La méthodologie de la simulation est disponible dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal. Nous présentons ci-dessous les résultats.

Les paramètres utilisés pour les trois simulations sont spécifiés dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal et en annexe 6. Il en est de même avec les paramètres pour la serre. On donne ici quelques détails :

- Les paramètres pour le BAU sont basés sur le code applicable en décembre 2021
- Les paramètres pour les bâtiments performants sont ceux permettant d'atteindre les cibles de la certification Carbone Zéro (BCZ) du CBDCa choisie pour référer la performance des bâtiments pour deux raisons :
 - 1- Elle inclut une performance énergétique et climatique et donc tient compte des émissions de GES
 - 2- Elle deviendra une norme de référence dans le marché au même titre que la certification LEED
- Les paramètres pour les bâtiments existants sont issus des données reçues (facture et consommation)

3.1.2 Simulations sur l'évaluation des besoins énergétiques totaux

Les besoins en énergie (chaud et froid) et rejets thermiques sont présentés dans le tableau 1. Les besoins en chaud font référence aux besoins de chauffage des espaces et de l'eau chaude domestique (ECD) des bâtiments, tandis que ceux en froid sont leurs besoins de climatisation et de réfrigération. Les rejets thermiques sont les rejets de chaleur vers l'air ambiant, qui participent aux effets d'îlot de chaleur et sont associés aux besoins en climatisation.

Note : Les quantités exprimées dans le tableau sont des échanges de chaleur, pas des demandes électriques ni des consommations. La pointe hivernale correspond au moment de la demande maximale de chaud du BAU pendant la période de novembre à mars (inclus), et la pointe estivale correspond au moment de la demande maximale en climatisation pendant la période d'avril à octobre (inclus). La demande annuelle est la somme des contributions énergétiques.

Tableau 1 : Besoins en chaud/froid et rejets thermiques selon les scénarios

Scénarios	Besoins en chaud		Besoins en froid		Rejets thermiques	
	Demande annuelle (GWh)	Pointe hiver (MW)	Demande annuelle (GWh)	Pointe été (MW)	Demande annuelle (GWh)	Pointe été (MW)
Bâtiments « au code » (BAU)	5.8	2.3	1.3	1.5	2.3	2.1
Scénario écoquartier (ref)	5.1	2.2	1.6	1.5	2.3	2.1
Scénario élargi	19.1	9.2	17.8	10	22.7	12.7

Interprétation du tableau 1 :

Il est assez étonnant de voir aussi peu de différence entre les besoins énergétiques des bâtiments BAU et ceux de l'écoquartier. Plusieurs raisons expliquent ces résultats :

- 1- La raison est que le code de l'énergie récemment adopté est devenu performant, diminuant ainsi les écarts avec les performances atteintes grâce aux certifications. Mais attention, deux choses sont à considérer :
 - Comme précisé ci-dessus, ce ne sont pas des consommations, mais des échanges de chaleur (des besoins).
 - Plusieurs « astuces » de construction et architecturales peuvent faire baisser considérablement les besoins en chaud et en froid, comme p.ex, les constructions avec des gains solaires évités en été.
- 2- La serre a un impact notable sur les besoins totaux et n'est pas visée par l'approche BCZ. Quand on la retire des simulations, les différences sont plus flagrantes (Figure 8).

Dans les faits, la figure 8 nous démontre plutôt que globalement, de belles performances sont atteintes en atteignant la cible BCZ, tout dépend du référentiel :

- 1- Le scénario BAU offre déjà une réduction de 80 % des besoins en chauffage par rapport à un bâtiment existant. Le nouveau code est donc performant.
- 2- Le scénario BCZ offre 35 % de réduction supplémentaire pour les besoins en chauffage.
- 3- Les besoins en climatisation sont plus importants par contre pour le BCZ, mais ceci ne tient pas compte de possibles stratégies passives pour climatiser et pour éviter les gains solaires.

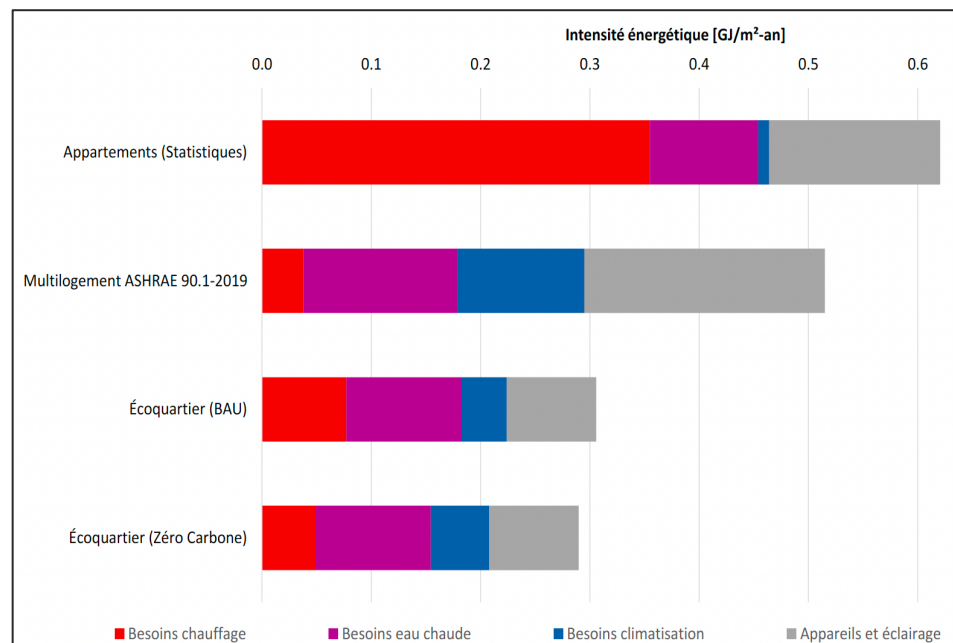


Figure 8 : Intensité des besoins énergétiques

3.1.3 Résultats et Analyse sommaire des consommations, appels de pointe et émissions de GES

Le tableau 2 présente les consommations, appels de pointe et émissions de GES annuels liés à l'utilisation du gaz et de l'électricité pour combler les besoins en chaud et en froid des bâtiments sans réseau thermique.

Les émissions de CO₂ équivalent ont été calculées à partir des facteurs utilisés par Transition Énergétique Québec (2019). La pointe hivernale correspond au moment de la demande maximale en chaud (chauffage + ECD) pendant la période de novembre à mars (inclus), et la pointe estivale correspond au moment de la demande maximale en climatisation en dehors de cette période. Les émissions de GES intègrent les émissions fugitives de réfrigérant provenant des climatiseurs et pompes à chaleur.

Tableau 2 : Consommation, demande de pointe et émission de GES par scénario

Scénarios	Gaz			Électricité			Total	
	Consom- mation (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	Consom- mation (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	Consom- mation (GWh)	Émissions t.eq CO ₂
Bâtiments « au code » (BAU)	4.6	1.1	1.3	5.5	1.4	1.8	10.1	914
Scénario écoquartier (ref)	1.2	0.4	0.6	6.8	1.4	1.1	8	236
Scénario élargi	8.1	3.2	4.4	38.5	7.7	8.8	46.6	1649

Les figures 9 et 10 détaillent les résultats présentés dans le tableau 2 pour les scénarios écoquartier et élargi. Elles schématisent le fonctionnement des scénarios et présentent les résultats pour les consommations annuelles. Les pointes en électricité (chauffage, climatisation, éclairages et appareils) et en gaz (chauffage, ECD) sont présentées dans le rapport de Polytechnique Montréal. Les émissions en équivalent CO₂ (nuage avec CO₂ dedans dans les schémas) et les rejets thermiques dans l'atmosphère (nuage blanc) y sont également présentés.

Légende utilisée pour les figures ci-dessous. Elle présente les équipements et les flux énergétiques.

 Consommation d'électricité	 Pompe à chaleur / refroidisseur
 Consommation de gaz	 Chauffage et eau chaude domestique
 Émissions de GES liées à la consommation d'énergie	 Refroidissement (climatisation)
 Rejets thermiques dans l'air ambiant	 Rejets de chaleur dans l'air ambiant
	 Échange de chaleur avec les égouts ou le fleuve/canal
	 Électricité
	 Gaz naturel

Le schéma indique les valeurs annuelles en GWh sauf pour les émissions de GES, qui ne comprennent que celles liées à l'énergie.

Le chauffage électrique est en partie réalisé par des pompes à chaleur (chauffage des espaces) et en partie par des résistances électriques (eau chaude).

Les valeurs représentées comprennent ces deux parties, ce qui explique le COP apparent très bas ($4.18/3.28=1.27$).

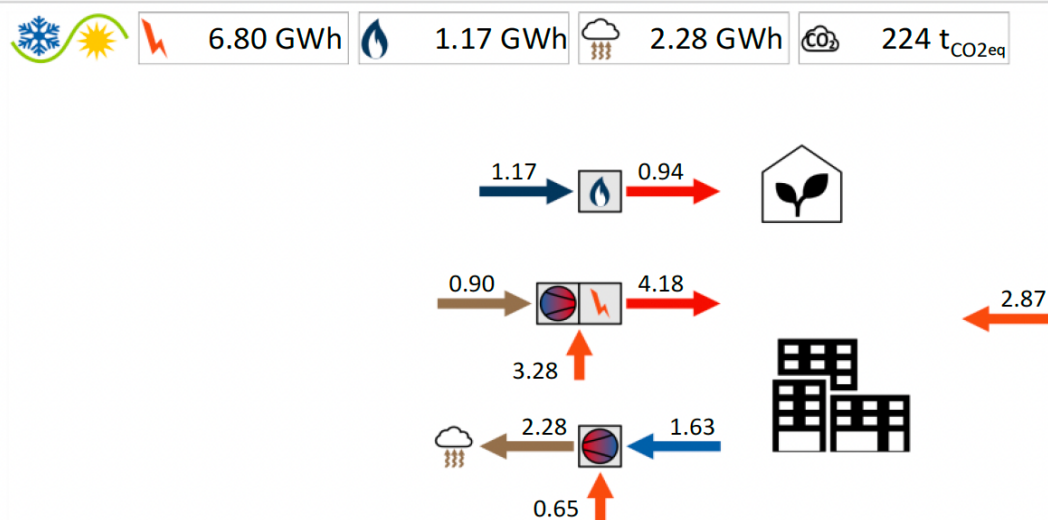


Figure 9 : Fonctionnement du scénario BCZ (avec la serre) et résultats de simulation – sans réseau

Le schéma indique les valeurs annuelles en GWh sauf pour les émissions de GES, qui ne comprennent que celles liées à l'énergie.

Le chauffage électrique est en partie réalisé par des pompes à chaleur (chauffage des espaces) et en partie par des résistances électriques (eau chaude).

Les valeurs représentées comprennent ces deux parties, ce qui explique le COP apparent très bas ($12.6/11.7=1.08$).

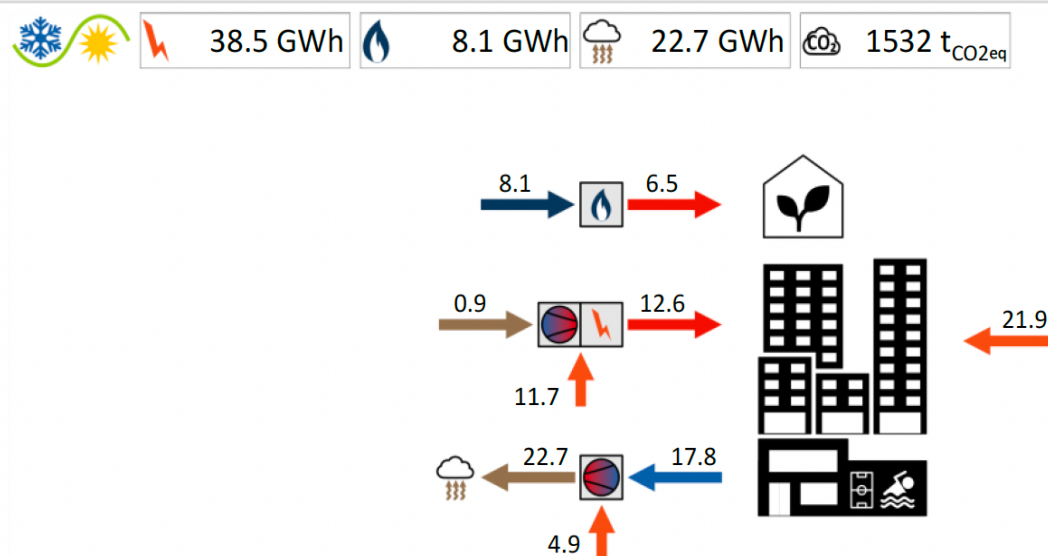


Figure 10 : Fonctionnement du scénario élargi (BCZ + serre + Institutions) et résultats de simulation – sans réseau

Analyse des consommations pour le scénario écoquartier BCZ (pris du rapport Polytechnique) :

Pour le bilan annuel représenté à la figure 9, les besoins en climatisation sont de 1.63 GWh. Cette quantité de chaleur est extraite des bâtiments par des climatiseurs (la flèche bleue représente un besoin de climatisation). Les climatiseurs consomment une quantité de 0.65 GWh d'électricité (flèche orange) et rejettent 2.28 GWh de chaleur dans l'air ambiant (flèche marron). Les besoins de chauffage (flèches rouges) sont partiellement comblés par des PAC et des chaudières ou plinthes électriques (chauffage résistif), et partiellement comblés par le gaz. Ici, les chaudières au gaz comblent 0.94 GWh de besoins en consommant 1.17 GWh de gaz, et les systèmes électriques (combinaison de PAC et systèmes résistifs) fournissent 4.18 GWh en consommant 3.28 GWh d'électricité. Ils prennent donc 0.90 GWh de chaleur dans l'air ambiant – chaleur non comptée dans le bilan des rejets, comme on peut le voir le total des rejets correspond bien aux 2.28 GWh rejetés par les systèmes de climatisation. Seuls les rejets « positifs » sont comptés, car associés aux îlots de chaleur urbains et aux risques de salmonellose dans les tours de refroidissement. Notons que les pictogrammes représentant les bâtiments sont un tout, donc la flèche orange à droite qui représente la consommation pour l'éclairage et les appareils (2.87 GWh) ne concerne pas seulement les bâtiments, mais également la serre.

Nous ne fournissons pas d'analyses pour le scénario élargi qui intègrent les mêmes données que le scénario BCZ, mais auxquelles il faut rajouter les données réelles des bâtiments institutionnels et sportifs existants.

3.2 Identification et évaluation des gisements énergétiques

Comme expliqué en section 2, les réseaux thermiques de nouvelles générations ouvrent la voie aux EnR et à la valorisation des rejets thermiques, devenant ainsi un levier pour initier une transition énergétique à l'échelle des villes.

Huit gisements énergétiques identifiés dans le secteur à l'étude ont été considérés pour les fins de l'analyse :

1. Valorisation des fonctions exothermiques et du potentiel Négawatt (conservation et efficacité énergétique)
2. Valorisation des rejets thermiques d'origine industrielle
3. Valorisation des rejets thermiques provenant d'équipements particuliers
4. Valorisation des rejets thermiques issus des effluents liquides dans les égouts
5. Production d'énergie aérothermique
6. Production d'énergie géothermique
7. Exploitation de la capacité thermique de la rivière des prairies (hydrothermie)
8. Valorisation de rejets thermiques issue d'un poste de transformation électrique

3.2.1 Identification des gisements non exploitables

Pour minimiser les coûts d'investissement et assurer le fonctionnement en tout temps du système énergétique avec réseau, il faut un nombre minimum de sources ou de gisements capables de combler les besoins en mode été et hiver. Idéalement, nous voudrions trouver une seule source.

De ce fait et après analyse, les sources (de 1 à 5) explicitées ici n'ont pas été considérées. Nous les précisons malgré tout car :

- certaines sources pourraient devenir opportunes à l'avenir
- un réseau thermique est une infrastructure qui peut croître de manière organique
- ces deux points appelant à une planification urbanistique intégrant les aménités énergétiques locales

3.2.1.1 Le potentiel de conservation et d'efficacité énergétique

Le potentiel de conservation et d'efficacité énergétique (potentiel Negawatt) est considéré comme gisement énergétique, car tout besoin énergétique évité est une énergie à ne pas produire. Ceci a un impact direct sur la puissance installée des équipements énergétiques et donc sur le CAPEX.

La modélisation des besoins de pointe pour les sources, dans les scénarios avec réseau, rend implicite ce potentiel par l'utilisation de la chaleur fugitive en mode refroidissement. C'est l'avantage offert par les réseaux de chaud et froid qui, sans cette infrastructure, ne permettraient pas de valoriser cette énergie qui serait autrement perdue malgré le fait que tous les bâtiments répondent à la norme BCZ.

3.2.1.2 Les rejets thermiques d'origine industrielle

Il y a peu d'installations industrielles ayant des rejets thermiques exploitables dans le secteur à l'étude. Nous n'avons donc pas considéré cette source pour les scénarios étudiés.

Il existe cependant des rejets thermiques non exploités provenant de la centrale de cogénération Biomont qui alimente déjà les bâtiments de la Tohu et du Cirque du Soleil (annexe 9).

Cette énergie disponible n'a pas été considérée dans les scénarios proposés, car il y a une distance de 2,45 km entre la centrale et le centre Robillard ce qui se traduit par des coûts importants (tuyauterie de distribution et génie civil), sans avoir la garantie d'une intensité et durée prévisible. Nous reviendrons sur cette source ultérieurement (section 6) en renseignant un scénario d'extension potentielle du réseau.

3.2.1.3 Valorisation des rejets thermiques provenant d'équipements spécifiques

Deux équipements d'intérêts « urbain » et « sociétal » pourraient être considérés pour venir s'arrimer à un potentiel réseau thermique, peu importe la dimension de ce réseau. Il s'agit d'entrepôt frigorifique et des centres de données.

Pourquoi ces deux équipements ? Ce sont deux équipements en demande croissante, dont les bénéfices énergétiques pourraient être externalisés, et qui ont un potentiel d'arrimage certain à un réseau thermique.

- Centre de données

La demande en centre de données ne pourra pas aller en diminuant en regard du besoin grandissant de stocker des données. Entre 2019 et 2021, le Québec est passé de 39 à 50 installations¹ et le gouvernement québécois est dans une dynamique d'attraction². À l'échelle mondiale, 2 zettaoctets (deux mille milliards de gigaoctets) étaient générés en 2010, en 2020, c'était 64 zettaoctets, en 2025, ce sera 180 zettaoctets³. La demande est en croissance exponentielle, le Québec, avec son climat et l'hydroélectricité étant un territoire visé par les promoteurs.

D'un point de vue énergétique, les centres de données devraient être implantés en territoire urbain afin de maximiser le potentiel de valorisation des rejets thermiques.

- Entrepôt frigorifique

Les entrepôts frigorifiques sont un équipement à caractère industriel nécessaire à plusieurs niveaux, dont le stockage des denrées alimentaires. Chaque entrepôt devient une source intéressante de rejets thermiques à valoriser. Leur localisation stratégique sur le territoire urbain devrait être une opportunité à considérer. Par

¹ www.tvanouvelles.ca/2021/09/12/de-plus-en-plus-de-centre-de-donnees-au-quebec

² www.investquebec.com/international/fr/secteurs-activite-economique/technologies-information-communications/centres-de-donnees.html

³ <https://fr.statista.com/infographie/17800/big-data-evolution-volume-donnees-numeriques-genere-dans-le-monde/>

exemple, un petit entrepôt frigorifique de 500 m³ pourra fournir en hiver une puissance de 20 à 30 kW suffisante pour 5 à 10 foyers, avec un coût de raccordement au réseau dérisoire (2 tuyaux de 1 ½ po) et en été éviter un îlot de chaleur de 30 kW.

Nous ne le traiterons pas spécifiquement dans cette étude, mais tenons à spécifier qu'étant donné la volonté d'implanter un pôle alimentaire au sein du futur quartier, il serait judicieux de considérer cet équipement dans la planification et de l'intégrer dans la réflexion énergétique à venir. Nous le mentionnerons également dans nos recommandations.

Notre avis :

La tendance actuelle en matière de développement énergétique est à l'efficacité énergétique et à la diminution de la pression des consommations sur le réseau électrique alors qu'on se dirige vers une électrification générale du système énergétique québécois. Nous pensons que ces deux équipements devraient être considérés dans la planification du quartier car ce sont des équipements énergivores, mais néanmoins incontournables, qui rejettent de très grandes quantités d'énergie valorisables.

De ce fait, sachant le besoin pour ce type d'équipement, pourquoi ne pas planifier leur localisation pour permettre de profiter des externalités qu'ils offrent ? Leurs effets sur le réseau seraient en effet bénéfiques et conséquents. Nous parlons ici d'une opportunité considérable à bien des niveaux :

- réponse à une demande croissante pour ce type d'équipements
- valorisation des rejets thermiques autrement évacués dans l'air ou l'eau et opportuns en matière de sources d'énergie pour un réseau thermique, peu importe sa dimension.
- accès à du financement dédié permettant de couvrir en grande partie les coûts d'implantation
- diminution des coûts d'implantation de la ou des centrales thermiques du fait de la diminution des besoins en puissance.

Nous reviendrons également sur ces équipements dans la section 6 pour présenter un scénario d'extension possible.

3.2.1.4 Valorisation des rejets thermiques issus des effluents liquides dans les égouts

Les effluents présents dans les égouts sont une source d'énergie potentiellement exploitable par un réseau thermique. Ce potentiel avait été étudié dans le cadre de l'étude élaborée pour l'arrondissement Ville-Marie, en 2019 [1]. Nous recommandons de consulter cette étude pour les détails techniques et infrastructurels de ce gisement.

Trois types de données sont nécessaires pour déterminer le potentiel énergétique du gisement :

- Données de température dans les collecteurs et les intercepteurs
- Les débits dans les différents réseaux (réseau local, collecteurs, intercepteurs)
- La cartographie du réseau (existante et projetée)

Données acquises et analyse :

- Intercepteur nord (station Curotte) : plage de température [2 °C – 25 °C] et un débit > 60 000 m³/jour
- Collecteur (Émile Journault) : pas de relevé de température, débit de 37 000 m³/jour

Nous avons placé en annexes 7 et 8 une carte du réseau d'égout dans le secteur à l'étude fournie par la DEEU, service de l'eau, ville de Montréal, indiquant le réseau de collecteurs existants et les points de raccordement à l'intercepteur nord situé sur le boulevard Henri Bourassa où une valorisation aurait pu être envisageable.

Sur la base de l'analyse effectuée et précisée dans l'annexe 7, nous aurions besoin d'une surface d'échangeur d'approximativement 800 m² soit plus de 8 km de tuyaux à installer accotés à l'égout considéré pour être en mesure de capter la chaleur des effluents et être en mesure de l'exploiter.

Conclusion :

À cet effet, est-ce que le gisement énergétique provenant des égouts est exploitable aux fins de chauffage et de climatisation pour le futur quartier ? La réponse est oui.

Par contre, est-ce que c'est viable d'un point de vue coûts-bénéfices ? La réponse est non. Ce seraient des travaux gigantesques pour des retombées minimales, sans parler des externalités négatives dues aux travaux de génie civil.

3.2.1.5 Production d'énergie aérothermique

L'aérothermie repose sur le même principe que la géo ou l'hydrothermie (échangeur et pompe à chaleur). La différence est que le gisement est l'air plutôt que la terre ou l'eau. Les températures de l'air oscillent dans l'intervalle [-30 °C – +35 °C], celles de l'eau oscillent dans [1,5 °C – 25 °C] et la terre garde une température quasi fixe autour de 12 °C à 500 m de profondeur. On comprend dès lors que la puissance de l'équipement à installer pour exploiter ces gisements n'est pas la même, l'air nécessitant des puissances bien plus grandes que pour l'eau et le sol.

Note : Il n'y a pas que le différentiel de température à considérer pour évaluer le potentiel d'un gisement. La capacité thermique (capacité d'un média à accumuler de l'énergie sous forme thermique) importe grandement. P.ex., il est bien plus facile de capter la chaleur de l'eau que de l'air et de la terre, l'air ayant une capacité thermique volumique environ 3 400 fois plus faible que celle de l'eau. Les coûts d'implantation et de maintenance importent aussi grandement. P.ex. creuser des puits à 400 m de profondeur n'est pas sans impact financier.

Étant donné les puissances requises pour alimenter le quartier seul (entre 2 et 2,3 MW), l'aérothermie n'est pas appropriée, et ce, même dans les conditions standards de fonctionnement. Les principales raisons sont les suivantes (avec des chiffres pour le scénario Louvain seul) :

- Sans travaux d'atténuation, l'impact sonore serait de plus que 63 Db à 10 m
- En été, les équipements rejettent de la chaleur et deviennent un îlot de chaleur important (plus de 2 MW)
- Cela nécessiterait une puissance d'approximativement 400 kW à installer
- Cela nécessiterait un surdimensionnement important afin de couvrir les pointes et/ou épisodes dans les pires conditions hivernales et estivales. Cela représente donc un investissement considérable en équipement pour fonctionner à pleine capacité pour environ 10% du temps. Le tout se traduit par :
 - o Une grande surface occupée au sol (ou sur une structure), autour de 400 m²
 - o Un besoin d'une infrastructure d'alimentation en eau pour l'été, avec coûts de maintenance et de traitement pour éviter le développement de bactéries

En conclusion, seuls les potentiels thermiques issus de la géothermie, du poste de transformation Charland, et de la Rivière-des-Prairies ont été traités comme gisement énergétique exploitable ou opportun pour cette étude.

3.2.2 Caractérisation et analyse des gisements exploitables et opportuns

Nous présentons la caractérisation et les principes techniques attenants de ces trois gisements :

- Géothermie à colonnes permanentes
- Hydrothermie – gisement de la Rivière-des-Prairies
- Valorisation énergétique des rejets thermiques issus du poste de transformation électrique Charland.

Les principes thermodynamiques et les équipements permettant l'exploitation de ces trois types de gisements sont similaires et sont basés sur les principes de l'échange et des pompes à chaleur (voir précisions en annexe 10)

En résumé, les principales étapes pour valoriser ces gisements sont de :

- 1 Pomper le fluide dans la source
- 2 Capter une partie de l'énergie thermique contenue dans la source (air, eau, sol, rejet)
- 3 Transférer l'énergie du gisement considéré à un fluide caloporteur
- 4 Amener la température du fluide caloporteur à celle désirée (on hausse ou on diminue la température)
- 5 Rejeter les excès de chaleur pendant les épisodes de production de froid

3.2.2.1 Spécificité sur la géothermie à colonnes permanentes

Il existe différents types de géothermie. Il s'agit d'une technique avec un bon niveau de maturité technologique. Nous explicitons ici la géothermie à colonnes permanentes seulement (voir annexe 11). Celle-ci est plus avantageuse que la géothermie classique, essentiellement, pour deux raisons :

- Échange direct de chaleur avec l'eau du sol, donc puissance exploitable plus grande par mètre de puits
- Par conséquent, besoin de moins de puits et donc le champ de puits est plus compact et plus facile à localiser.

La puissance disponible est de 150 W/m de puits (charge au sol). Les puits sont normalement de 500 m, mais à Montréal, pour le moment, on creuse à 300 m. Donc chaque puits peut offrir 45 kW de puissance thermique.

Ce type de géothermie a été développé avec le concours de Polytechnique Montréal et est en cours d'installation dans divers endroits, dont une école à Mirabel⁴.

⁴ <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2020-12-07/planete-bleue-idees-vertes/la-geothermie-dans-les-ecoles-quebecoises.php>

La Figure 12 et la Figure 13 présentent des solutions pour l'implantation des puits. Ceux-ci peuvent aussi aller sous les bâtiments (ex. Maison du développement durable à Montréal) bien que la question de l'accès aux équipements pour la maintenance et les réparations se pose. Pour un scénario élargi aux bâtiments limitrophes, l'espace de 790 m reliant la rue Émile Journault à la rue Louvain Est et longeant le bois Saint-Sulpice (en bordure de stationnement) est une belle opportunité pour localiser les puits ainsi que les réseaux de tuyaux (en dehors du domaine public).

Enjeu :

Le manque de mixités pour l'écoquartier comme pour les bâtiments limitrophes crée un profil de consommation qui ne s'équilibre pas entre les besoins en chaud et en froid, et entre les besoins estivaux et hivernaux. Cela se traduit par un enjeu de débalancement important :

- Écoquartier : manque annuel de chaleur dans le sol de $2,7 - 1,2 = 1,5$ GWh, donc un débalancement de 125%
- Scénario élargi : apport annuel de chaleur dans le sol de $14,4 - 6 = 8,4$ GWh, donc 140% de débalancement.

Ce débalancement impose de prévoir une solution et un équipement permettant de se débarrasser ou d'éviter ces excès de chaleur :

- 1- Un ouvrage pour rejeter l'excédent de chaleur (rivière, égouts, air) – les estimations effectuées par Atis Technologies ont été faites en prenant l'air comme média pour évacuer la chaleur. Les égouts ont été écartés pour des raisons de coûts. La rivière serait idéale, mais sachant qu'elle a le potentiel de remplir les besoins énergétiques complets, pourquoi investir dans une double exploitation de gisement énergétique ?
- 2- Coupler l'exploitation de la géothermie à la valorisation des rejets du poste Charland. Le Rapport d'Atis a étudié cette possibilité pour le scénario écoquartier (voir le rapport annexé)

Infrastructure : dans le cadre de notre étude, nous approximons le nombre de puits nécessaires à :

- Scénario écoquartier : 43 puits dont 36 de pompages de 300 m, et 7 d'injection de 100 m (avec poste Charland)
- Scénario élargi : 278 puits, dont 232 de pompage de 300 m, et 46 puits d'injection de 100 m

Conclusion :

La géothermie est une solution connue avec un niveau de maturité technologique élevé mais qui comporte encore des enjeux de taille que ce soit en termes de coût, de longévité des équipements, de problèmes intrinsèques à la géothermie (agressivité chimique de l'eau et des particules solides en suspension qui nécessitent un traitement continu de l'eau avec des coûts permanents.). Mais le principal enjeu reste celui du débalancement entre les besoins hivernaux et estivaux. La solution reste intéressante pour le scénario écoquartier.

3.2.2.2 Spécificité sur le gisement Rivière-des-Prairies

Pourquoi la Rivière-des-Prairies ?

La Rivière-des-Prairies est un gisement très opportun pour alimenter un réseau thermique. La rivière comme le fleuve Saint-Laurent sont en effet des sources énergétiques considérables, non exploitées malgré un gisement exceptionnel qui aiderait à la transition énergétique axée sur la décarbonisation et la résilience du système énergétique québécois.

Suivant les mêmes principes que la géo et l'aérothermie, il y a matière à exploiter les capacités thermiques de la rivière à des fins de chauffage et de refroidissement. L'hydrothermie est en effet plus efficace et plus facile à opérer en termes de disponibilité d'énergie que la géo et l'aérothermie et pouvant être moins coûteuse en matière d'équipements.

Le débit très grand de la Rivière-des-Prairies est un atout pour l'exploitation requérant une grande capacité thermique, car son débit rend possible l'utilisation de grand volume d'eau. Ce débit permet une conception qui favorise une différence de température (ΔT) minime entre l'eau prélevée et rejetée, et aurait donc un impact très mineur sur la faune et la flore de la rivière. De plus, de faibles différences de température sont requises pour la conception puisque la température de la rivière en hiver atteint fort probablement 4 °C et que la température de sortie de l'échangeur ne peut être sous le point de congélation (0 °C).

Malgré tout, une veille réglementaire s'impose, car la rivière, sa faune et sa flore sont protégées par un carcan réglementaire. Une étude d'impact et un certificat d'autorisation seront probablement à prévoir si l'idée est maintenue.

Deux types de données sont nécessaires pour l'évaluation du gisement et la détermination du potentiel exploitable (voir annexe 12) :

- Données de température annualisées en profondeur dans la rivière
- Les débits sur une base journalière

Données obtenues et analyse :

Les données de température de RdP en profondeur n'ont pas été obtenues, ni auprès des ministères provinciaux concernés, ni auprès des ministères et services fédéraux. Nous ne savons pas si ces données sont effectivement générées (seules les températures de surface le sont). Nous avons donc évalué le potentiel du gisement en considérant

les pires conditions, à savoir la température la plus basse en hiver et la plus chaude en été. Une validation des données hivernales sera requise ainsi qu'une campagne de prélèvement de température.

Les données quant au débit de la RdP sont fournies par le CEHQ (Centre d'expertise hydrique du Québec) et disponibles sur leur site⁵. Nous avons basé nos calculs sur la base des débits minimums qui sont d'approximativement 400 m³/s.

Pour les bienfaits de l'analyse, le dimensionnement et les coûts associés ont été calculés pour une température du fleuve de [1,5 °C – 25 °C] avec un retour de 0,5 °C en hiver.

Conclusion :

La rivière est une source que nous recommandons fortement de considérer. Elle seule peut suffire dans les pires conditions d'hiver pour chauffer 100% des besoins (avec les PAC comme technologie) et peut accueillir 100% des rejets en chaleur durant les épisodes de canicules et éviter tout îlot de chaleur en ville. L'impact sur la température de l'eau de la rivière sera non mesurable (on parle de 0,003 °C).

Pour information : Avec un débit de 400 m³/s, un approvisionnement en chaleur d'une puissance de 1 GW (suffisante pour chauffer 200 000 foyers sans aucune autre source) diminuerait la température de ce débit de 0,6 °C. Ce débit est par ailleurs le débit minimum enregistré dans l'année...

3.2.2.3 Spécificité sur les rejets thermiques issus du poste de transformation électrique Charland.

Le poste de transformation Charland d'Hydro-Québec est situé à proximité du site du futur écoquartier, tel que montré à la Figure 3. Ce poste compte 4 transformateurs de 140 MVA, soit 560 MVA, qui convertissent la tension de 315 kV à 25 kV (Hydro-Québec, TransÉnergie, 2018). Ce poste de transformation pourrait représenter une source de rejets thermiques pour les réseaux de chaleur considérés dans cette étude.

⁵ www.cehq.gouv.qc.ca/Suivihydro/graphique.asp?NoStation=043301

Le poste Charland est équipé d'un transformateur haute tension muni d'un système de refroidissement à l'huile, qui peut être récupérée plutôt que rejetée à l'atmosphère. Cette source d'énergie ne fournit que du chauffage qui provient du refroidissement de l'huile des transformateurs.

Pour aller plus loin :

Une explication plus détaillée est présentée dans le rapport technique de Polytechnique Montréal, section 5. Celle-ci reste limitée pour des raisons de confidentialité imposée par Hydro-Québec à ce stade d'étude, mais une approximation du potentiel thermique a malgré tout été réalisée.

Le rapport d'Atis présentera quant à lui les équipements nécessaires pour exploiter le gisement ainsi que les coûts. Par contre, il a été décidé de simuler le potentiel de ce gisement en couplage avec la géothermie.

Potentiel de valorisation :

Selon nos estimations, il y a un potentiel entre 100 et 400 kW disponible en tout temps, hiver comme été. Ce potentiel ne permet pas de couvrir les besoins en chaleur de l'écoquartier + serre, mais offrirait malgré tout une chaleur relativement constante (ou en phase avec les pointes de demandes en chauffage et en climatisation, puisque celles-ci influencent les pointes électriques), ce qui, dans un cadre de réseau thermique, est très appréciable.

Enjeux :

- Il s'agit d'une infrastructure stratégique pour HQ ce qui peut complexifier le processus
- Le potentiel devrait être précisé et validé avec Hydro-Québec

Conclusions et opportunités :

- Il y a clairement un intérêt d'HQ de creuser la solution, car elle pourrait servir à différents endroits sur le territoire et contribuer à répondre à des enjeux vécus par le réseau de distribution.
- L'écoquartier est le projet idéal pour motiver une recherche entre les instances universitaires (p.ex. Polytechnique Montréal) et les laboratoires d'HQ tels que le LTE ou l'IREC à Varennes. Ce type de projet peut être facilement financé par des fonds dédiés à ce genre de recherche. Nous en ferons une recommandation.
- Du simple fait de l'aspect innovant, nous pensons que c'est une source à tenter d'exploiter, car elle viendrait contribuer au bouquet énergétique en plus d'offrir une visibilité enviable au projet.

3.2.3 Résumé des avantages et inconvénients des gisements exploitables

Nous résumons ici les principaux avantages et inconvénients des trois sources considérées

Géothermie

Avantages

- Technologie avec un degré de maturité suffisant fournissant du chaud et du froid
- Espaces disponibles pour localiser les puits et peut s'implanter en suivant les phases de développement
- Peut participer à un bouquet énergétique de gisements (combinaison de sources, meilleure résilience)
- Pas besoin d'installer des tuyaux en dehors du périmètre du site.

Inconvénients

- Le savoir-faire de l'industrie québécoise ne permet pas de creuser à 500 m de profondeur, mais à 300 m, ce qui augmente le nombre des puits et implicitement la surface au sol nécessaire aux puits.
- Entretien onéreux et durée de vie limitée
- Débalancement hiver-été problématique entre les besoins en chaud et froid du sol (il faut un puits de rejet autre, enjeu de coût)
- Ne peut pas combler seul les besoins du scénario élargi dû à un coût énorme.
- Il y a aussi l'incertitude de la qualité du sol et d'eau avant forage et la possibilité d'augmenter le nombre de puit par rapport à l'estimé d'avant-projet.

Rejets thermiques du poste Charland

Avantages :

- Proximité de la source avec le futur écoquartier (réduction de coût)
- Énergie suffisante pour combler jusque ≈ 70 % des besoins annualisés de l'écoquartier selon la littérature, à confirmer avec les données d'Hydro-Québec.
- Financement disponible de type subvention (étude et implantation) si la ville est le promoteur
- Innovation et modèle exportable très intéressant (fort potentiel) - visibilité
- Bonification de « l'effet écoquartier » avec un projet potentiel de recherche par Polytechnique Montréal et HQ.
- Couplage potentiel avec une autre source d'énergie telle que la géothermie par exemple.

Inconvénients :

- Pas de données publiques disponibles auprès d'Hydro-Québec, potentiel incertain.
- Incertitudes quant à l'alignement de la vision des parties prenantes (HQ, Ville de Montréal, promoteurs)
- Ne fournit que la chaleur. Il faudra des équipements pour le froid (climatisation) et un puits de rejet des excès de chaleur (enjeu de coût, et d'îlot de chaleur si refroidissement par l'air).

Rivière-des-Prairies (hydrothermie)

Avantages :

- Quantité et densité thermique suffisantes pour tous les scénarios (chaud et froid)
- Maturité technologique de niveau 9 (aucun enjeu) et relativement peu coûteuse
- Impact environnemental mineur et des industries exploitent déjà le fleuve à des fins énergétiques
- Offre une solution très opportune pour une stratégie de décarbonisation, de réduction des îlots de chaleur et du bruit, de l'île de Montréal
- Offre une solution qui peut facilement intégrer de futures demandes en chaud ou en froid et permettre l'accroissement du réseau.
- Permettrait de capter les institutions comme l'école Sophie Barat qui prévoit des rénovations majeures dans le très court terme.
- Projet similaire à Gatineau (quartier Zibi)

Inconvénients

- Source se situant à 1,5 km et nécessite une intervention majeure sur le domaine public (enjeu de coût)
- Enjeu certain d'acceptabilité sociale par rapport à l'utilisation de la rivière/fleuve
- Nécessite un appui politique

4 Scénarios de réseaux opportuns

4.1 Choix de type de réseau

Comme spécifié à la section 2, deux types de réseaux ont été considérés :

- 1- Réseau centralisé : Réseau thermique chaud-froid alimenté par une ou plusieurs centrale(s) thermique(s) utilisant un ou plusieurs gisements énergétiques disponibles dans l'environnement immédiat (4^eG).
- 2- Réseau décentralisé : Réseau thermique à boucle d'eau mitigée fonctionnant en mode décentralisée et dont les bâtiments clients deviennent aussi des producteurs d'énergie (5^eG).

L'analyse des gisements et des besoins nous a confirmé que ces deux types de réseau pouvaient répondre aux besoins et aux objectifs. Cependant, le réseau 5^eG a rapidement été écarté, principalement pour les raisons suivantes :

- démultiplication d'équipements de type pompe à chaleur dans chacun des bâtiments
- augmentation de la consommation d'électricité dans chaque foyer nécessitant un réseau de distribution d'électricité plus coûteux, une réalité exacerbée par l'électrification des transports
- augmentation du nombre potentiel de pannes et contrôle général plus complexe du réseau
- coûts de maintenance plus élevés
- fuites fugitives plus importantes
- résilience moins grande (l'eau distribuée ne peut pas servir à chauffer ni refroidir sans une source d'électricité locale dans chaque bâtiment)

Principes de fonctionnement d'un réseau thermique 4^eG :

Le scénario de réseau de 4^{ème} génération correspond à la mise en œuvre de 2 réseaux centralisés :

- Un réseau d'eau chaude à température modérée (de l'ordre de 75 °C) qui permet de satisfaire directement les besoins en chauffage des espaces et en eau chaude domestique des bâtiments, et
- Un réseau d'eau refroidie (à une température d'alimentation de 4 °C) qui permet de satisfaire directement les besoins de climatisation des bâtiments.

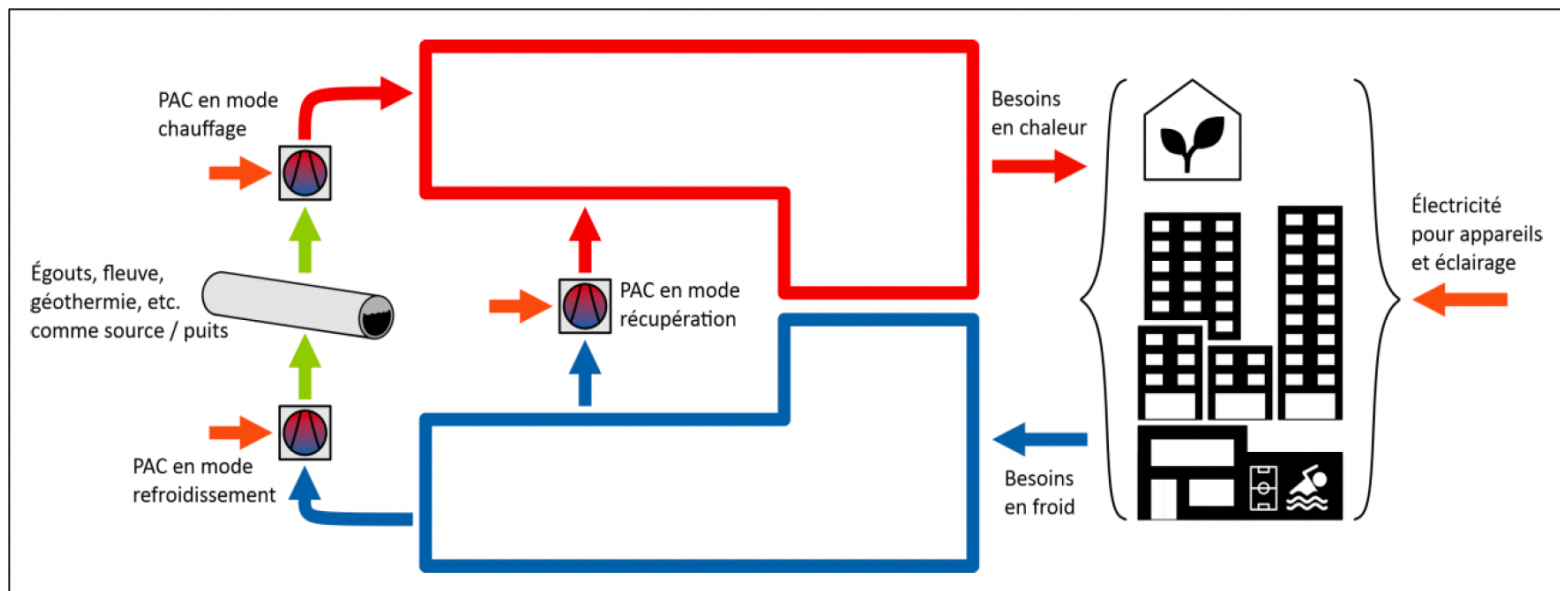


Figure 11 : Principe de fonctionnement d'un réseau 4°C

Le réseau chaud (rouge) satisfait les besoins en chaleur (chauffage et eau chaude domestique) des bâtiments. Le réseau froid (bleu) satisfait les besoins en refroidissement (climatisation) des bâtiments. Les besoins en électricité pour les appareils et l'éclairage sont fournis par le réseau d'Hydro-Québec. Les réseaux sont chauffés et refroidis par un ensemble de pompes à chaleur (PAC) qui fonctionnent en mode chauffage (en transférant de la chaleur depuis une source renouvelable comme la rivière), en mode refroidissement (en transférant de la chaleur vers un puits renouvelable comme le fleuve), ou encore en mode récupération en transférant de la chaleur depuis le réseau froid vers le réseau chaud.

4.2 Présentation des scénarios de réseaux et hypothèse de fonctionnement

À partir du réseau 4^eG, nous avons retenu deux scénarios analysés en fonction du scénario de référence :

- Scénario écoquartier : effet d'un réseau pour les besoins du futur quartier seul.
- Scénario élargi : effet d'un réseau pour les besoins du futur quartier et des institutions limitrophes.

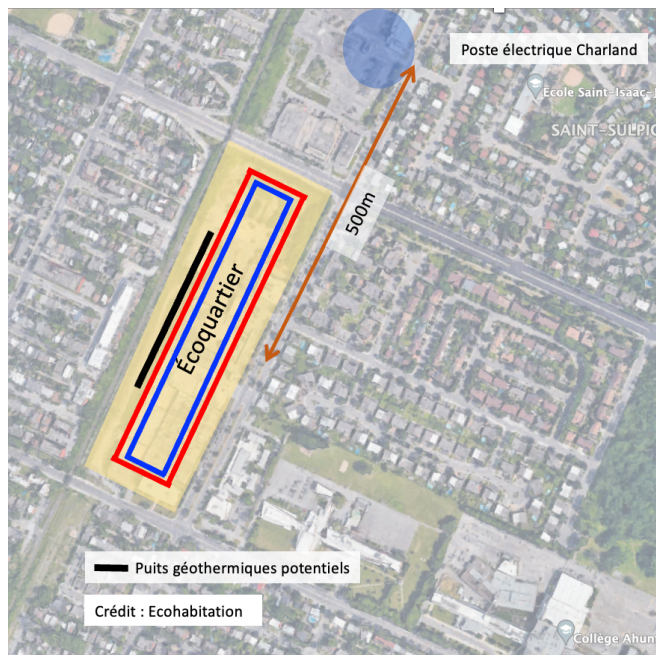


Figure 12 : Scénario écoquartier

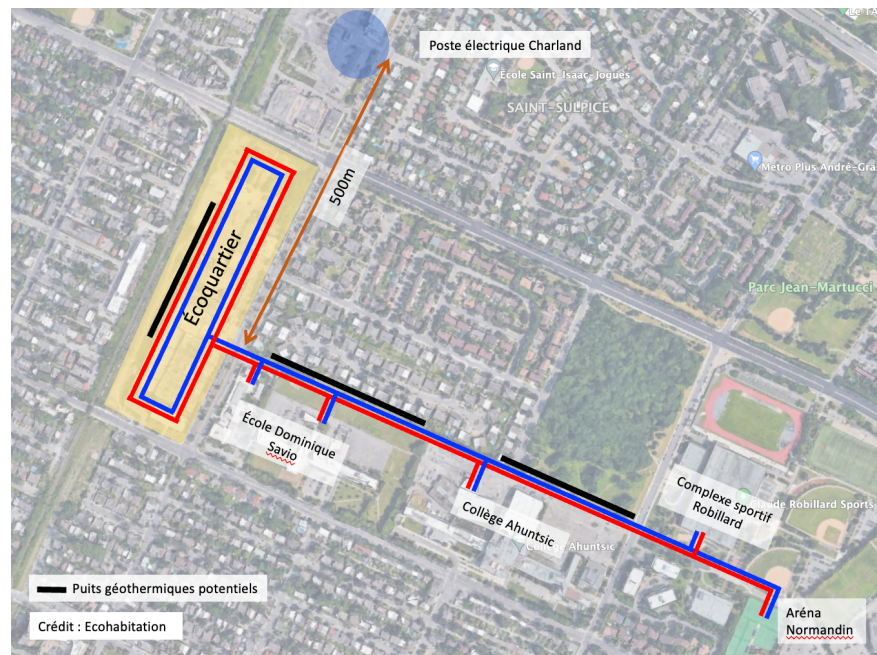


Figure 13 : Scénario élargi

Dans les deux scénarios, les données de consommations, de puissance de pointe (été, hiver) et d'émissions de GES ont été calculées.

Note importante : Nous avons décidé d'analyser un scénario élargi prenant en compte les bâtiments existants limitrophes dans le but de démontrer l'opportunité qu'implanter un réseau thermique peut initier et apporter une solution tangible et viable dans une stratégie de décarbonisation et de résilience du cadre bâti existant.

Les gisements retenus ne permettent pas tous de remplir les besoins énergétiques en chaud et froid. Selon les deux scénarios étudiés, nous aurons :

	Réseau écoquartier	Réseau élargi	Commentaires
Géothermie	Oui – 100 %	Contribution	Connu, Couteux, Efficace, Potentiel limité
Rejets thermiques Charland	Contribution	Contribution	Innovation, Recherche à faire, Potentiel limité
Rivière-des-Prairies	Oui – 100 %	Oui – 100 %	Simple, Efficace, Potentiel non limité

Notes :

- o Géothermie : Le potentiel de la géothermie est lié au nombre de puits. Nous avons considéré les puits à colonnes permanentes qui permettent de réduire de ≈ 40 % le nombre de puits nécessaires.
- o Rejets thermiques du poste Charland : Le gisement couvrirait jusque 70 % des besoins de l'écoquartier avec une estimation haute, mais il faut considérer le manque de données tangibles et le caractère innovant de valoriser un tel gisement
- o La Rivière-des-Prairies : gisement idéal pour les deux scénarios du fait qu'il ait un potentiel *quasi infini*. C'est une source qui permettrait un développement organique du réseau et qui représente une solution tangible dans une stratégie de décarbonisation et de résilience plus large (échelle de l'arrondissement).

Le choix entre l'une ou l'autre de ces trois sources d'énergie sera inhérent aux avantages, inconvénients et opportunités qui sont fonction de la vision et des objectifs à long terme de la ville de Montréal dans sa politique de lutte et d'adaptation aux changements climatiques. Nous y reviendrons en conclusion.

4.3 Résultats des simulations pour les scénarios envisagés

Les hypothèses de calculs et les résultats par scénario sont renseignés dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal. Il inclut les hypothèses de simulations et une analyse plus complète des profils énergétiques des bâtiments futurs et existants avec ou sans réseau thermique.

Le tableau 3 présente un résumé des principaux indicateurs de performance des différents scénarios suite aux simulations effectuées. Les résultats complets sont fournis dans le rapport Polytechnique Montréal.

Tableau 3 : Consommation, demande de pointe, et émission de GES des différents scénarios de réseau 4^eG

Scénarios	Gaz			Électricité			Total	
	Consom- mation (GWh)	Pointe estivale (MW)	Pointe hivernale (MW)	Consom- mation (GWh)	Pointe estivale (MW)	Pointe hivernale (MW)	Consom- mation (GWh)	Émission t.eq.CO ₂
Quartier BAU (au code)	4.6	1.1	1.3	5.5	1.4	1.8	10.1	914
Écoquartier sans réseau	1.2	0.4	0.6	6.8	1.4	1.4	8	236
Écoquartier avec réseau	0	0	0	5.1	1	1.2	5.1	17
Projet élargi sans réseau	8.1	3.2	4.4	38.5	7.7	8.8	46.6	1649
Projet élargi avec réseau	0	0	0	32	6.7	7	32	99

Des visuels donnant une lecture des flux énergétiques ont été développés et placés dans le rapport de Polytechnique qui contient les analyses spécifiques à chaque scénario. Nous ne présentons ici que les résultats généraux pour le scénario de référence (écoquartier + serre) et le scénario élargi (écoquartier + serre+ bâtiments existants).

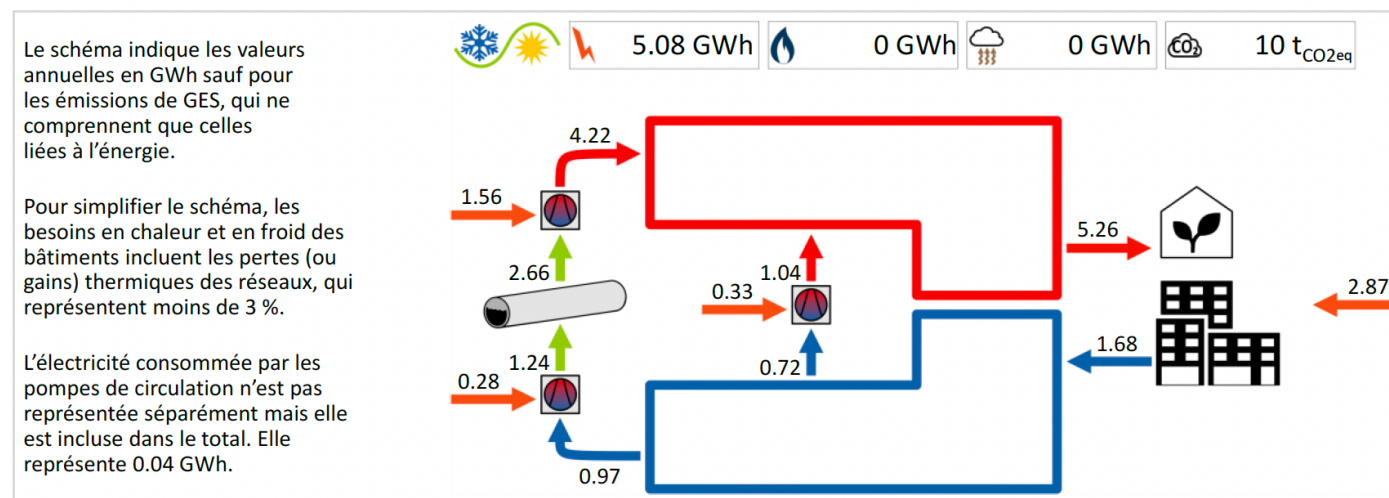


Figure 14 : Fonctionnement du scénario BCZ (avec la serre) et résultats de simulation – avec réseau

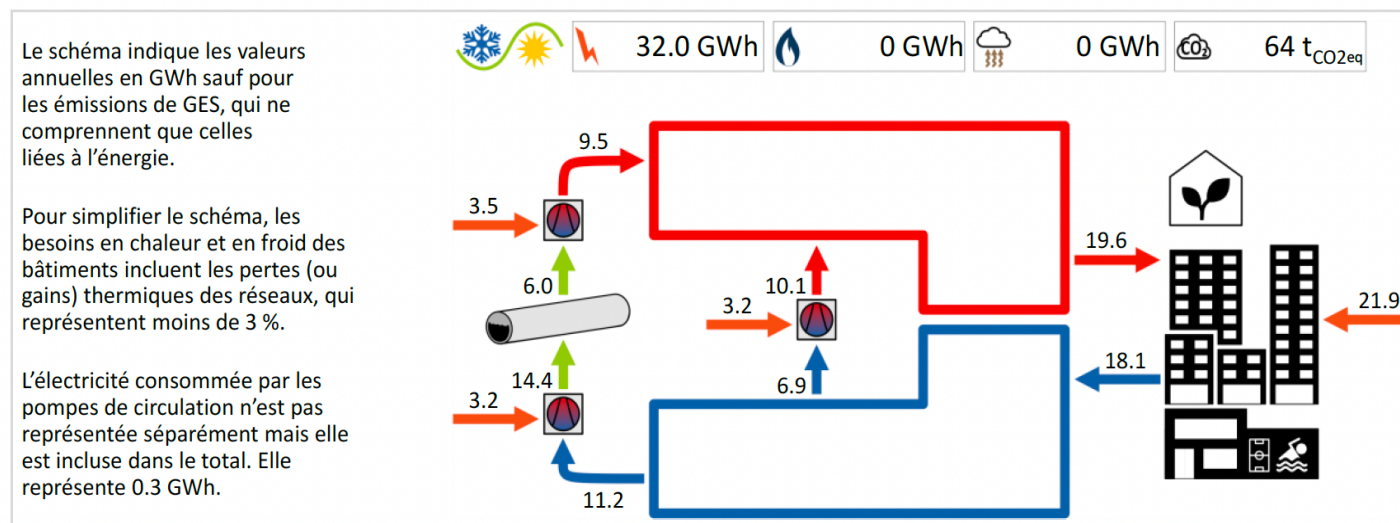


Figure 15 : Fonctionnement du scénario élargi (BCZ + serre + bâtiments existants) et résultats de simulation – avec réseau

4.4 Interprétation et Analyse des résultats

4.4.1 Généralités sur les consommations énergétiques

En première lecture, par rapport aux deux scénarios de référence (surligné rose dans le Tableau 3), un réseau 4^eG apporte un lot d'avantages en matière de consommations énergétiques globales, en demande de pointe et en réduction des rejets thermiques atmosphériques et des émissions de GES.

Pour le scénario écoquartier (avec la serre), le réseau 4^eG permettrait une réduction remarquable de 36.5 % des consommations énergétiques totales (environ 25 % des consommations électriques), et ce, en supprimant le gaz naturel. C'est une diminution nette des consommations énergétiques.

Même conclusion pour le scénario élargi (avec la serre), le réseau 4^eG permettrait une réduction d'environ 31.3 % des consommation énergétiques totales (16.5 % des consommations électriques), et ce, en supprimant également le gaz naturel.

4.4.2 Carboneutralité

La Figure 16 ci-dessous montre les émissions de GES pour les deux scénarios, quartier et élargi

Juste le passage d'un modèle BAU à BCZ avec des bâtiments performants permet une réduction de 74 % des émissions de GES.

L'ajout du réseau offre une diminution supplémentaire de 92.7 % en considérant un réfrigérant classique (avec NH₃, 95.7 %).

Cette réduction est principalement due au fait qu'on supprime le recours au gaz naturel pour chauffer la serre. Comparé à un scénario BAU, le réseau supprimerait le gaz naturel autrement utilisé pour satisfaire les besoins en eau chaude domestique et les pointes de demande en chauffage.

Important : Le réseau permet également de réduire les émissions de GES et de substances appauvrissant la couche d'ozone provenant des réfrigérants en ce qui a trait au besoin de froid (climatisation). En effet, il permet d'éviter la multiplication de climatiseur par unité de logement et donc de garder un contrôle sur les fuites potentielles par une maintenance appropriée.



Figure 16 : Émissions de GES pour les deux scénarios (haut : BCZ ; bas : élargi)

Dans le cas du scénario élargi, les résultats sont encore plus notables. La réduction des émissions est de 94 % par rapport au scénario de quartier BCZ, mais incluant les institutions limitrophes. On parle clairement d'une solution de décarbonisation du secteur bâti existant.

4.4.3 Effet sur la pointe électrique

Pour le scénario de quartier BCZ, la demande de pointe électrique est réduite de 14 %, alors que les scénarios de décarbonisation conduisent en général à des augmentations de la pointe. C'est une performance supplémentaire.

Pour le scénario élargi, la demande de pointe électrique est réduite de 20 % pour une réduction de 96 % des émissions de GES, ce qui est littéralement impressionnant.

Il ne faut oublier que les demandes de puissance peuvent être réduites encore plus avec des stratégies plus fines de conception de bâtiment et par des équipements encore plus performants pour le réseau. L'accumulation thermique (batterie, bassin de stockage) pourrait permettre de réduire considérablement la pointe, voire même de la supprimer si on s'en tient à l'évolution technologique galopante en la matière⁶. L'analyse d'opportunité produite reste une analyse de haut niveau avec des paramètres généraux utilisés, mais cela vaudrait la peine d'inclure un scénario de stockage dans une étude ultérieure.

4.5 Conclusion et éléments de résilience

Dans les faits, le réseau 4^eG offre une diminution notable des consommations énergétiques en :

- 1- éradiquant l'utilisation du gaz dans les bâtiments existants et équipements prévus (ex. serre)
- 2- réduisant les appels de puissance en période de pointe et ce, sans stratégie de stockage thermique

Cet aspect vient prouver qu'un **réseau est une infrastructure adéquate pour élaborer une stratégie d'approvisionnement énergétique de quartier à la fois durable et résiliente, mais aussi pour élaborer une stratégie de décarbonisation dans un secteur bâti.**

⁶ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1843554/hydro-quebec-stockage-energie-renouvelable>

Par ailleurs, dans les deux scénarios l'implantation d'un réseau thermique pourrait permettre d'éliminer les rejets thermiques dans l'atmosphère permettant, de ce fait, de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain en rejetant la chaleur excédentaire dans un puits dédié à cet effet (rivière, géothermie, égouts...).

Par contre, cela va dépendre du choix du gisement ou de leur combinaison :

- La rivière est clairement le gisement qui permet de maximiser tous les avantages d'un réseau, dont la suppression des rejets thermiques. Elle est idéale pour le scénario élargi afin de mieux rentabiliser l'investissement, mais fonctionne aussi pour l'écoquartier.
- La géothermie seule ou combinée avec le poste Charland, du fait du débalancement été-hiver, si aucune solution n'est prévue pour rejeter les excès de chaleur (dans la rivière ou dans les égouts), contribuera aux îlots de chaleur par des rejets thermiques atmosphériques (tour de refroidissement) ou devra être surdimensionnée pour gérer l'excès ou le manque de chaleur sur une base annuelle.

Du point de vue de l'adaptation au changement climatique, les réseaux peuvent permettre de faire fonctionner les systèmes urbains (chauffage, climatisation, ECD) en cas de coupure dans le réseau principal d'Hydro-Québec. Il y a une réponse en cas de choc sur le système centralisé, car le fonctionnement des pompes à chaleur, et autres pompes dans les scénarios proposés, peut être assuré avec des systèmes de secours prévus à cet effet, mais à dimensionner selon le niveau de résilience requis (souvent des génératrices au diesel/gaz, ou une solution de stockage électrique).

Les besoins de climatisation sont aujourd'hui devenus une réponse au changement climatique et aux vagues de chaleur inhérentes. Les réseaux thermiques offrent la climatisation avec des solutions à moindre impact sur le système énergétique actuel en contrôlant mieux la puissance par rapport à un scénario classique et même performant (BCZ), et en offrant des solutions à moindre impact écologique en contrôlant les fuites de frigorigènes.

La solution d'un réseau est avantageuse pour les deux scénarios vis-à-vis des objectifs, mais les impacts positifs diffèrent selon les gisements considérés. Nous y reviendrons en conclusion.

5 Informations sur les aspects financiers et élaboration haut-niveau des coûts

Nous renseignons ici à haut niveau les coûts en équipements pour les différents scénarios et gisements. Il est par contre prématuré de proposer un modèle économique viable étant donnée la portée de l'étude et le nombre d'inconnus à ce stade du projet. Nous proposons malgré tout de préciser quelques coûts d'opportunités et solutions de financement.

5.1 Variables générales de coûts à considérer

Nous renseignons ici les éléments de coûts classiquement considérés pour élaborer le coût de revient. Une répartition de ces coûts par rapport au coût total est proposée en annexe 13.

Études	Coût des études	Études de pré faisabilité, de faisabilité technico-financière, de plan et devis, et les coûts liés aux demandes de permis et autres.
Coûts de construction (CAPEX)	Coûts d'équipement de production	Coûts reliés aux centrales de production thermique que sont principalement : ○ Le bâtiment et le centre de contrôle. ○ L'échangeur de chaleur ○ Les pompes à chaleur
	Coûts d'équipements de distribution	Coûts exprimés en \$/ml (mètre linéaire) et essentiellement liés à deux composantes : ○ Le diamètre et la composante isolante des canalisations ○ La longueur du réseau
	Coûts de génie civil	Coûts pour effectuer les tranchées, le terrassement, les connexions. Il est contextuel et dépend de nombreux paramètres (présence de réseau technique, la profondeur, etc.)
Coûts de fonctionnement (OPEX)	Coûts en combustibles	Ils sont aléatoires dépendamment de la source d'énergie principale et de leur disponibilité. Dans le cadre de cette étude, les coûts en combustible seraient nul car provenant de rejets thermiques ou du fleuve.
	Coûts connexes de fonctionnement	Inclus les salaires, les assurances, les impôts locaux et l'eau, les produits chimiques et d'entretien, l'électricité, le ou les contrats de service, etc. (coût non renseigné).
	Coût des projets d'extension	Liés à l'extension du réseau vers d'autres secteurs limitrophes. En termes financiers, elle est une stratégie de développement pouvant permettre de maximiser l'amortissement de la puissance installée dans les centrales et optimiser les coûts de génie civil.

5.2 Estimations des coûts en équipements et génie civil

Les coûts renseignés ici le sont sur la base des hypothèses pour déterminer le dimensionnement des équipements en fonction des types de gisements étudiés. Ces hypothèses de dimensionnement et de coûts sont précisées dans le rapport d'Atis Technologies.

Les coûts d'investissement d'un réseau sont principalement dépendant de la puissance thermique demandée et du diamètre des canalisations installées dans le réseau primaire, ainsi que du type de source(s) d'énergie choisi pour alimenter la centrale thermique (équipements). Les coûts de génie civil sont évidemment aussi très importants.

Nous renseignons ces coûts de la façon suivante pour les deux types de scénarios proposés :

- Coût de la centrale thermique
- Coût du réseau
- Coût en équipements

5.2.1 Hypothèses de bases, longueur de réseau et limitations

Le Tableau 4 résume les hypothèses élaborées par l'équipe de travail et détaillées dans les rapports de Polytechnique Montréal et d'Atis Technologies. Elles serviront à préciser les coûts des équipements nécessaires pour remplir les besoins thermiques par type de scénario.

Tableau 4 : Hypothèses de base

Caractéristiques		Écoquartier	Secteur Élargi
Puissance PAC	Froid	2.0 MW	11.0 MW
	Chaud	2.5 MW	10.0 MW
COP	Froid	3.2	
	Chaud	2.7	
Longueur tuyauterie (réseau 4 tuyaux)		4000 m	8000 m
Régime nominal temp.	Froid	2 °C / 15 °C	
	Chaud	70 °C / 40 °C	
Pente hydraulique (dimensionnement)		≈ 4 %	

Longueur du réseau et de canalisation (voir

- Estimation de la longueur de réseau écoquartier : 1 km
- Estimation de la longueur de réseau élargi : 1 km + 1 km = 2 km
- Scénario écoquartier : Réseau 4^eG, 4 tuyaux, longueur de canalisation estimée à 4 km
- Scénario élargi : Réseau 4^eG, 4 tuyaux, longueur de canalisation estimée à 8 km

Limitations :

- Le coût de la centrale n'inclut pas :
 - o Le coût d'acquisition ou de construction du bâtiment ni de son aménagement
 - o Le coût de connexion au collecteur (égout) à évaluer où à la rivière si ces gisements sont choisis
- Les coûts de génie civil sont très approximatifs
 - o Les coûts peuvent varier grandement d'une rue à une autre pour les raisons spécifiées dans la section 5.1
 - o Ces coûts peuvent être traduits en coûts d'opportunités si intégrés à des travaux de génie civil déjà prévus.

5.2.2 Résultats :

Scénario Écoquartier + serre		
Centrale énergétique		
	Équipements, plomberie, électricité, contrôle, fourniture et installation	5 200 000 \$
	Bâtiment et alimentation électrique	2 000 000 \$
	Sous-Total	7 200 000 \$
Réseau		
	Tuyauterie (4 km), pompes	1 200 000 \$
Source : Géothermie + Poste Charland		
	Géothermie (puits, pompage, tuyauterie sol, échangeur chaleur, filtration eau)	3 800 000 \$
	Poste Charland (tuyaux, civil, pompage, échangeur chaleur, modif. circuit huile)	1 200 000 \$
	Sous-Total	5 000 000 \$
	Total	13 400 000 \$
Source : Rivière-des-Prairies		
	Tuyaux, pompes, échangeur chaleur, civil, électricité	3 000 000 \$
	Total	11 400 000 \$

Scénario Élargi : Écoquartier + serre + bâtiments limitrophes		
Centrale énergétique		
	Équipements, plomberie, électricité, contrôle, fourniture et installation	14 000 000 \$
	Bâtiment et alimentation électrique	4 000 000 \$
	Sous-Total	18 000 000 \$
Réseau		
	Tuyauterie (8 km), pompes	5 600 000 \$
Source : Géothermie + Tours refroidissement		
	Géothermie (puits, pompage, tuyauterie sol, échangeur chaleur, filtration eau)	16 000 000 \$
	Refroidisseurs d'air adiabatiques, pompage, tuyauterie, atténuation bruit	1 000 000 \$
	Sous-Total	17 000 000 \$
	Total	40 600 000 \$
Source : Rivière-des-Prairies		
	Tuyaux, pompes, échangeur chaleur, civil, électricité	8 500 000 \$
	Total	32 100 000 \$

Ceci est une approximation avec des marges d'erreur à considérer. Malgré tout, ces coûts donnent un ordre de grandeur appréciable.

5.3 Coûts d'opportunité

Nous introduisons une notion de coût d'opportunité pour renseigner de possible réduction des coûts d'investissement et d'opération du réseau. Nous en avons distingué quatre :

1- Coût des sous-stations (réseau secondaire)

Les sous-stations font le pont entre le réseau primaire et secondaire qui fournit l'énergie dans les bâtiments et unités. Dans les réseaux 4^e G, ces sous-stations consistent en des échangeurs de chaleur et des vannes de contrôle. Un règlement municipal peut imposer à tout promoteur de concevoir une sous-station répondant aux prérequis techniques. Leur coût peut être assumé, en partie ou en totalité, par les promoteurs immobiliers.

2- Coût d'opportunités des installations institutionnelles

- Collège Ahuntsic vise un agrandissement de ces installations et pourrait être intéressé à décarboniser ses installations. Une connexion à un réseau élargi pourrait être opportune au moins à deux niveaux :
 - o l'espace libéré dans sa salle mécanique serait considérable
 - o économies de coûts importants sur la facture énergétique et sur les coûts de maintenance
- Complexe Robillard et aréna Normandin vont subir des travaux dits de *recommissioning*, budgétés avec un échéancier de réalisation pour viser une décarbonisation complète des installations. Une connexion à un réseau élargi pourrait être opportune au moins à deux niveaux :
 - o L'évitement en partie de la demande de puissance (pointe) supplémentaire que le projet va susciter sur le réseau électrique et donc une réduction de la facture énergétique.
 - o Une contribution directe à une potentielle stratégie et initiative de décarbonisation du secteur.

3- Coût de génie civil (tranchées, terrassement, connexions à effectuer souvent sur le domaine public)

- Pour la section du réseau reliant le poste Charland à la centrale thermique, qu'elle soit sur le terrain du futur quartier ou sur celui du collège Ahuntsic, la proximité du poste Charland réduit drastiquement les coûts de génie civil. C'est une opportunité si le rejet thermique s'avère être exploitable et intéressant.
- Dans le cas de l'exploitation du gisement que serait la Rivière-des-Prairies, les coûts de génie civil seraient un coût d'opportunité si une réfection des canalisations et de la chaussée sur le boulevard Christophe Colomb étaient nécessaires, voire envisagées dans un horizon de 5-8 ans. La municipalité dispose de budget spécifique pour les infrastructures publiques, ce qui deviendrait une économie dans les coûts d'implantation du réseau.

4- Coût d'évitement

Nous introduisons cette notion de coût d'évitement, car le réseau est une solution pour décarboniser le secteur Ahuntsic-Cartierville tout en assurant un service énergétique facturé et une adaptation aux changements climatiques. En soi, décarboniser est un impératif pour tous les acteurs de la société et ce sera un coût net si on ne change pas nos procédés ou façons de faire pour continuer à remplir nos besoins. Avec un réseau conçu pour croître de manière organique, on dispose d'une infrastructure capable d'absorber toute demande énergétique de futurs développements en plus de permettre une décarbonisation et un service énergétique à ce qui est déjà bâti et ainsi d'éviter la multiplication des systèmes énergétiques indépendants (même philosophie que pour les égouts).

5.4 Sources de financement potentiel

Nous renseignons ici de manière succincte en ne précisant que les informations générales de différentes sources de financement pour soutenir les coûts d'investissement et aider au montage d'un plan financier (modèle économique).

Différentes subventions existent et peuvent être particulièrement opportunes. Par contre, les montants disponibles et pouvant être octroyés vont dépendre des modèles de gouvernance et d'affaires. Nous donnons ici les quatre principales subventions que nous pensons opportunes :

1. Entente bilatérale intégrée pour les infrastructures vertes (entente EBI⁷)

Cette entente fédérale-provinciale peut couvrir jusqu'à 73 % des coûts d'implantation du projet venant avec des conditions qui sont précisées en annexe 14. À cet effet, cette couverture des coûts d'implantation n'est offerte que si la ville est le promoteur du projet et à la condition que le palier provincial couvre 33 % des frais. Les informations préliminaires récoltées auprès du SMTEQ à cet effet n'indiquent pas clairement quels genres de projets peuvent être couverts, mais l'objectif de l'entente EBI est la décarbonisation des secteurs d'activités.

2. Programme Écoperformance (gouvernement provincial, SMTEQ)

Écoperformance vise à soutenir les projets de réduction des émissions de GES, et des consommations de combustibles fossiles, d'efficacité énergétique des bâtiments et des procédés, de réduction des émissions fugitives. Il est offert aux institutions, industries et municipalités et dispose de différents volets opportuns⁸ :

- Volet analyse qui peut couvrir à hauteur de 50 % les coûts de développement
- Volet implantation couvrant à hauteur de 75 % des coûts d'implantation (équipements, génie civil, etc.)

Écoperformance semble être approprié pour couvrir les 33 % provenant du palier provincial qu'exige le palier fédéral dans le cadre de l'entente EBI.

⁷ <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/en/affaires/appel-de-propositions/valorisation-des-rejets-thermiques>

⁸ <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/affaires/programmes/ecoperformance>

3. Fonds municipal vert de la Fédération canadienne des municipalités (FMV/FCM)

La FCM offre à la fois des subventions et des prêts à taux avantageux. Les programmes offerts sont nombreux et spécifiques au type de projet, les réseaux thermiques en faisant partie. Les volets opportuns⁹ :

- Volet étude couvrant à hauteur de 50 % les coûts de développement avec un plafond fixé à 175 000 \$.
- Volet immobilisation accompagné généralement d'une subvention de 15 % des coûts d'implantation.

4. Hydro-Québec

Le réseau énergétique québécois subit des enjeux grandissants liés à la demande de puissance (pointe) qui motivent HQ à travailler avec les promoteurs et à subventionner les projets d'efficacité énergétique et de réduction de puissance sur le réseau. Nous n'avons pas de programme spécifique à présenter, mais il nous apparaît évident qu'HQ serait intéressé par le projet de réseau.

5. Autres sources de financement potentiel de type prêt à taux préférentiel (concessionnel) :

- Fonds d'électrification et de changements climatiques (FECC) du gouvernement : Le contexte politique autour du FECC ne nous permet pas de préciser quoi que ce soit quant aux chances de succès d'en bénéficier, mais il est supposé être dédié à tout projet permettant la réduction des émissions de GES.
- Fonds d'investissement d'impact : Les fondations privées et/ou familiales peuvent investir dans des projets aux retombées dans le triple rendement. Certaines de ces fondations ont des spécificités touchant l'énergie et la lutte au changement climatique. Elles peuvent s'accompagner de subventions.
- Banque d'infrastructures Canada : Le gouvernement fédéral a créé la BIC en 2018 dont la mission vise, entre autres, le soutien à des projets d'infrastructures facilitant la transition énergétique et écologique. 5 milliards de dollars sont dédiés à des « projets visant les infrastructures vertes, y compris ceux qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, qui favorisent l'assainissement de l'air et de l'eau, et qui encouragent l'utilisation de l'énergie renouvelable ¹⁰».

⁹ <https://fcm.ca/fr/financement>

¹⁰ www.infrastructure.gc.ca/CIB-BIC/index-fra.html

6 Génie urbain, Croissance organique, et Synergies potentielles

Un réseau thermique n'est pas nécessairement dédié à un projet immobilier. Il peut être une infrastructure urbaine pouvant vivre une croissance organique, et donc croître et s'arrimer à d'autres réseaux limitrophes existants ou à venir. Il peut aussi s'adapter voire créer des opportunités pour s'arrimer à des infrastructures ou équipements aux bénéfices urbains certains. C'est une infrastructure dite de *génie urbain*.

Dans les faits, un réseau thermique, peu importe sa génération, est évolutif par nature. Très souvent, selon la littérature, une croissance organique du réseau peut, sans s'y limiter :

- faciliter l'atteinte d'une viabilité financière en atteignant une masse critique suffisante de connexions/clients
- permettre une décarbonisation du secteur bâti à l'instar du scénario élargi étudié
- permettre l'atteinte d'une meilleure performance des futures installations dans le secteur
- éviter une électrification massive qui affecte le réseau de distribution d'HQ car on la centralise.

À cet effet, l'électrification massive des pans de la société couplée aux besoins de développement de la ville crée un enjeu majeur de demande énergétique à combler (en quantité et en puissance). Considérant la demande croissante en énergie (voir État de l'Énergie 2021 [9]), des solutions devront être envisagées sachant que l'objectif n'est pas de construire des centrales hydroélectriques très coûteuses et à l'acceptabilité sociale remise en question, mais ce n'est pas non plus de limiter le développement, ni l'accès à des équipements qui répondent à nos besoins.

Nous tenions à présenter quelques opportunités qui se présentent en considérant une telle croissance du réseau.

6.1 Valorisation des rejets thermiques provenant d'équipements spécifiques

Nous avons présenté dans la section 3.2 les gisements potentiels pour alimenter un réseau thermique dans le secteur à l'étude. Parmi eux, deux équipements d'intérêts « urbain » et « sociétal » pourraient être considérés pour venir s'arrimer à un potentiel réseau thermique, peu importe la dimension de ce réseau. Il s'agit d'entrepôt frigorifique et des centres de données. Nous les avons écartés de l'étude pour répondre au mandat, mais devant l'opportunité qu'ils présentent, nous les réintroduisons ici.

Dans les faits, ces équipements sont en demande croissante et feront partie du paysage urbain. Nous partons du principe que dans une logique de réorganisation du système énergétique global afin de pallier les changements climatiques et d'accroître sa résilience, ces équipements appelés *prosumers* (consomment et produisent de l'énergie en même temps) devraient être localisés stratégiquement. Les attacher à un réseau thermique permettrait de valoriser la chaleur qu'ils rejettent en hiver et, selon le gisement choisi, de supprimer les rejets thermiques dans l'air ambiant (îlot de chaleur).

Informations complémentaires sur un centre de données :

La présence d'un centre de données dans un quartier augmente considérablement les besoins de climatisation et la consommation d'électricité totale. Cependant, même en ajoutant une charge constante (12 MW de IT) dans le quartier, le scénario avec un réseau 4^eG pourrait voir sa pointe électrique hivernale moins affectée que le cas de référence à condition de l'intégrer comme gisement de chaleur. C'est un avantage certain comparé à une implantation d'un tel équipement au milieu de nulle part.

Par ailleurs, la présence d'un centre de données dans le quartier augmenterait la consommation/pointe électrique et les émissions de GES, mais ce pour chaque scénario (avec ou sans réseau de chaleur). Il est donc nécessaire que celui-ci soit relié à un réseau de chaleur, sinon une quantité de chaleur importante (~130 GWh/an pour un DC de 12 MW IT) serait directement rejetée vers l'atmosphère.

Par contre, l'ajout d'un centre de données sur un réseau serait pertinent à condition de considérer la rivière comme gisement, car elle pourra alors absorber les excès de chaleur en été.

6.2 Trottoirs et chaussées chauffants

L'idée de chauffer les trottoirs et les chaussées n'est pas nouvelle, mais a très rarement atteint l'étape de mise en œuvre pour des raisons essentiellement de coûts et de méconnaissances. Nous présentons cette option très sommairement et à titre informatif, des bénéfices pouvant s'avérer opportuns pour le secteur à l'étude.

Les réseaux thermiques sont appropriés pour intégrer ce genre de solution de « confort » urbain et hivernal.

6.2.1 Qu'est-ce qu'un trottoir et une chaussée chauffante ?

Le principe de chauffer un trottoir ou une chaussée consiste à faire circuler de l'eau (ou un mélange glycolé) dans un réseau de tubulure déposé à même le béton ou le pavé composant les trottoirs ou l'asphalte qui compose la chaussée.



Exemples de trottoirs et chaussées chauffantes (crédit : Google Image)

Ces systèmes existent essentiellement à l'échelle résidentielle (descente de garage), ou sur les pistes d'aéroport. Mais il existe de plus en plus de projets à l'échelle urbaine. Reykjavik chauffe ses trottoirs grâce à l'énergie géothermique, la ville d'Holland dans le Michigan (US) chauffe ses trottoirs et certaines chaussées en valorisant les rejets thermiques de leur centrale au gaz¹¹.

6.2.2 Opportunités et (co)bénéfices

Plusieurs bénéfices et co-bénéfices sont à considérer avec cette solution. Nous en présentons les principaux :

- Le chauffage des trottoirs et des chaussées protège des épisodes de gel/dégel de plus en plus fréquents, allongeant la durée de vie des infrastructures civiles. C'est une solution d'adaptation et de résilience.
- Ce genre de solution permet d'éviter les opérations de déneigement émettrices de GES, en plus d'éviter tous les désagréments connexes (acidification des sols à cause du sel de déglacage, bruit).
- La sécurité des piétons est améliorée et l'accès facilité aux commerces, équipements publics (école, installations sportives), bureaux et logements. Ils s'inscrivent dans les équipements menant à une mobilité active.

¹¹ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1015145/un-risque-payant-les-trottoirs-chauffants-de-holland-michigan>

6.3 Potentiel de croissance organique

Le secteur à l'étude se trouve être proche d'un secteur d'innovation environnementale qu'est le Complexe environnemental Saint-Michel (CESM). Nous sommes d'avis qu'il existe une opportunité certaine de prévoir une croissance du réseau thermique élargi vers le CESM.

Aux fins de l'exercice, nous reprenons la figure 3 que nous complétons avec les informations menant à s'intéresser :

- au potentiel thermique provenant de la centrale Biomont où 1 MW d'énergie thermique serait disponible
- au potentiel de développement commercial et industriel le long de l'avenue Papineau de type serres agricoles, entrepôts réfrigérés, ou tout autre équipement commercial consommateur d'énergie thermique.

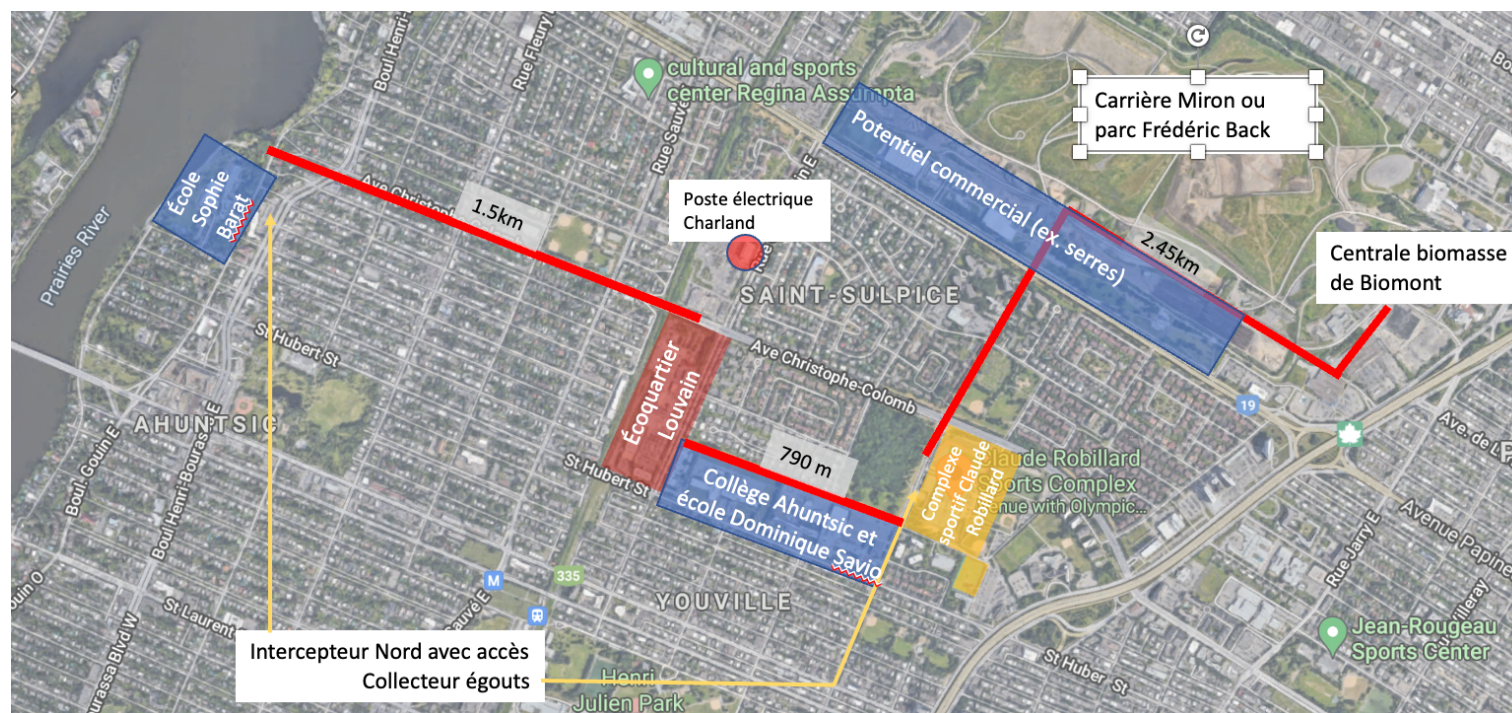


Figure 17 : Carte du secteur élargi au CESM

Nous listons les avantages de considérer ces opportunités pour une croissance organique du réseau :

- Le gisement de la Rivière-des-Prairies est tel que nous parlons d'une capacité considérable de fournir de l'énergie thermique (chaud et froid) sans affecter la capacité du réseau d'Hydro-Québec et avec une énergie renouvelable propre et *infinie*.
- Tout accroissement du réseau bien réfléchi contribuera d'autant plus à la rentabilité de l'infrastructure et à son impact positif. Chaque branchement (bâtiments, infrastructures, équipements, procédés industriels) pourra être bénéfique et la demande vers une source comme le fleuve et/ou la rivière pourra décroître par rapport à la puissance installée dans la ou les centrales.
- Le fait de se connecter au CESM s'inscrit dans une dynamique d'innovation urbaine pouvant mener à des capitaux plus accessibles tout en intéressant les acteurs financiers et politiques au projet (plus grande légitimité). Ce pourrait être un élément déclencheur.
- Un réseau thermique est déjà présent sur le territoire du CESM ou en bordure avec la centrale Biomont qui alimente la Tohu et le Cirque du Soleil. Cette centrale a une durée de vie limitée, car dès lors que l'ancien site d'enfouissement ne produira plus de gaz, il n'y a aura plus de cogénération. Le réseau élargi pourrait prendre alors le relai (en plus de bénéficier du 1 MW de disponible dès aujourd'hui).
- Cet accroissement deviendrait une stratégie de décarbonisation et de résilience à fort impact pour la ville de Montréal.

Conclusions et principales recommandations

Le projet d'écoquartier Louvain Est représente une opportunité pour dépasser les standards et promouvoir les solutions qui préserveront les aménités environnementales, et n'impacteront pas ou plus le climat, un enjeu particulièrement présent aujourd'hui.

À la question de savoir **si un réseau thermique serait bénéfique pour le futur quartier Louvain**, la réponse est oui, et ce, même si les bâtiments prévus seront déjà performants, sans égards aux coûts d'investissement (CAPEX). Nous parlons d'un impact considérable en termes de diminution des émissions de gaz à effet de serre, de réduction de l'impact sur la demande de puissance (demande de pointe), de consommation globale d'énergie et de résilience urbaine.

À la question de savoir **si un réseau thermique pourrait répondre à des besoins plus grands** tel qu'une transition énergétique visant à quitter les énergies fossiles tout en offrant une meilleure résilience du système énergétique québécois, **la réponse est également oui**. Nous rajoutons qu'il est même préférable de considérer un projet plus grand pour le réseau à des fins de rentabilité et d'intérêts soulevés.

Nous sommes en effet d'avis qu'un projet de réseau thermique initié par l'écoquartier Louvain Est devrait être considéré avec un plan de croissance organique de ce réseau, et ce dans le but de mettre en œuvre une stratégie de décarbonisation au sein de l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville et plus. Nous insistons également que ces retombées seraient maximisées à tous les niveaux en considérant le gisement énergétique de la Rivière-des-Prairies.

L'impact serait à la fois d'éviter de nouvelles émissions de GES induites par les nouveaux développements, en plus de retirer des émissions du parc existant, tout en évitant les impacts sur la demande de pointe (résilience du réseau HQ), ainsi qu'une diminution globale de la demande électrique (par rapport à un scénario de référence). À cet effet, **l'écoquartier Louvain Est serait un élément déclencheur d'un projet plus vaste de transition énergétique et de réduction des émissions de GES à échelle urbaine.**

Principales recommandations

Recommandation 1	Mener une campagne de prélèvement de températures et de débits (rivière, effluents)
Besoin	Générer des données complètes
Les analyses effectuées sont somme toute très sommaires et basées sur des données très souvent incertaines. La marge d'erreur dans les calculs effectués s'en trouve affectée. Considérant les investissements massifs que le projet peut susciter, et considérant la fenêtre d'opportunité avant que les développements ne commencent, nous recommandons de prévoir rapidement une campagne de prise de température dans la Rivière-des-Prairies en face du secteur étudié et au point de plus grande profondeur sur une période minimale de 6 mois en hiver.	
Recommandation 2	Motiver un appel d'offres pour plan et devis pour le projet de réseau 4 ^e G avec la rivière comme gisement
Besoin	Évaluer la faisabilité et l'impact dans une stratégie de décarbonisation
Nous sommes d'avis que Montréal aurait fort à gagner à considérer le fleuve Saint-Laurent et la Rivière-des-Prairies comme gisement énergétique pour alimenter ses futurs besoins en énergie thermique et pour décarboniser le secteur bâti sans affecter le réseau de distribution d'Hydro-Québec (consommation et demande de pointe). Une telle étude peut être financée par les programmes de la FCM et du gouvernement provincial, probablement par HQ également, qui investit massivement dans les solutions de protection du réseau à long terme. Elle permettrait par ailleurs d'élaborer concrètement un modèle d'affaire. Une telle étude devra intégrer le potentiel de croissance du réseau tel qu'exprimé en section 6	
Recommandation 3	Considérer l'implantation d'un centre de données sur le site de l'écoquartier ou dans un périmètre proche
Besoin	Établir le besoin, lister les contraintes, évaluer l'opportunité
La demande pour ce genre d'équipement est croissante et les bénéfices de tels équipements sont considérables en termes énergétiques. Par contre, il faut considérer : - Les réticences des promoteurs qui préfèrent la facilité en s'implantant en zone rurale - L'argument des vibrations dues au passage ferroviaire, qui peut être remis en question étant donné que Cologix opère un centre de données de 12 MW dans la Place Bonaventure (https://cologix.com/data-centers/montreal/mtl11/)	

Recommandation 4	Considérer l'implantation d'un entrepôt frigorifique sur le site de l'écoquartier ou dans un périmètre proche
Besoin	Établir le besoin, lister les contraintes, évaluer l'opportunité
Comme précisé, la demande pour ce genre d'équipements est croissante et leur localisation devient stratégique dans un contexte de transition énergétique et de décarbonisation. En les connectant à un réseau, on maximise les externalités de ce genre d'équipement. Par ailleurs, c'est un équipement nécessaire dans un plan de développement d'un pôle alimentaire.	

Recommandation 5	Élaborer un règlement municipal pour le réseau énergétique
Besoin	S'assurer que la ville dispose d'un pouvoir réglementaire pour s'assurer de la viabilité de l'infrastructure.
Deux éléments principaux sont à considérer pour assurer la viabilité de l'infrastructure en phase opérationnelle : - obliger la connexion des futurs bâtiments pour obtenir la masse critique suffisante à la viabilité financière du réseau - s'assurer que les systèmes mécaniques sont compatibles avec une connexion à un réseau, par exemple en interdisant les systèmes décentralisés ou VRF pour privilégier les boucles d'eau à l'intérieur des bâtiments. Ce règlement est une condition <i>sine qua none</i> au projet de réseau de grande envergure (scénario de croissance)	

Recommandation 6	Privilégier un modèle de gouvernance « tout public » ou « public-privé »
Besoin	Maximiser les opportunités de financement de type subvention / Prioriser une gouvernance permettant de faire face aux contraintes de temps et à la pression du développement immobilier
Dans le cadre de l'étude effectuée pour la ville de Montréal [1] (arrondissement Ville-Marie), une section avait été développée sur les modèles d'affaires et de gouvernance. Nous vous recommandons de consulter cette section si le réseau devient une infrastructure désirée. Le degré de contrôle requis par la ville pour assurer l'atteinte d'objectifs contraignants, le besoin d'un déploiement rapide du réseau et le faible niveau de rentabilité attendu du projet sont des éléments qui militent pour un modèle d'affaires de type « tout public » ou « public-privé » avec une présence forte du secteur public dans le cas d'une co-entreprise.	

Dans tous les cas, la ville devra s'adjoindre des partenaires privés d'expérience pour l'aider dans la préparation et la réalisation du projet (étude de faisabilité, montage de l'entité légale et cadre contractuel, conception, construction, administration, gestion, mesurage et facturation, opération et entretien, etc.), que ce soit comme sous-traitants, partenaires ou concessionnaires. Le niveau d'appui financier provenant de l'entente EBI fédérale-provinciale est également largement supérieur pour un projet appartenant à une municipalité, ce qui favorise un modèle d'affaires de type « tout public ». Malgré ceci, il sera primordial de réaliser une étude de faisabilité détaillée, incluant un montage financier et le choix d'une solution technique précise, afin de déterminer le meilleur modèle d'affaires à retenir pour ce projet.

Recommandation 7	Encourager un projet de recherche avec Hydro-Québec (IREQ) et Polytechnique Montréal
Besoin	Caractériser avec précision le potentiel de valorisation de rejet thermique des transformateurs électriques d'Hydro-Québec
Il y a un potentiel certain de valorisation des rejets thermiques émanant de la transformation de l'électricité à haut voltage à un voltage résidentiel dans les postes de transformation. Les données reçues d'Hydro-Québec (données confidentielles) le démontrent, mais une étude plus profonde s'impose pour 1- connaître le potentiel de valorisation en détail, 2- identifier la technique pour valoriser cette énergie (p.ex. créer une dérivation de l'huile de refroidissement), 3- identifier les avantages et inconvénients. On parle ici d'un potentiel d'innovation réel et très pertinent en période de transition énergétique.	

Bibliographie

- [1]- Écohabitation, Étude d'opportunité pour le développement d'un réseau thermique (« District energy sharing ») dans le secteur des Faubourgs, arrondissement Ville-Marie, Ville de Montréal, nov. 2019, 97p
Lien : [site de l'OCPM](#)
- [2] - Réseaux urbains de chaleur et de froid – Libérer le potentiel de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, PNUE, 2015, 138p
- [3] - ADEME, IN NUMERI, Carpenè, L., Haeusler, L., 2019. Les réseaux de chaleur et de froid : état des lieux de la filière. 87 pages.
- [4] – Design Guidelines, Neighbourhood Energy Connectivity Standards, March 2014, 9p
<https://vancouver.ca/files/cov/neighbourhood-energy-design-guidelines.pdf>
- [5] – A guide for connection do District Energy, Alexandra District Energy Utility, 20p
www.luluislandenergy.ca/wp-content/uploads/2017/06/CITYHALL-5005607-v1-CITYHALL-4980829-v4-ADEUDesignGuidelineFinal.pdf
- [6] - Marc Lee, Canadian Centre for Policy Alternatives, 2015. Innovative Approaches to Low-Carbon Urban Systems: A Case Study of Vancouver's Neighbourhood Energy Utility.
- [7] - C40 Cities, Février 2016. C40 Good Practice Guides: Toronto - Enwave Energy Corporation.
- [8] - International Energy Agency, 2017. Governance Models and Strategic Decision-Making Processes for Deploying Thermal Grids.
- [9] - Whitmore, J. et Pineau, P.-O., 2021. État de l'énergie au Québec 2021, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.
Lien URL : <https://energie.hec.ca/eeq/>

Annexes

Annexe 1 : Personnes contacts opportunes

	Hydro-Québec	Confidentiel. Communication avec Polytechnique Montréal uniquement et NDA signée	Données sur le poste de transformation
Émilie Papillon	Ville de Montréal	Ingénieure Civil – Hydraulique, Section Ingénierie de procédé, DEEU, Ville de Montréal (514) 280-4391/ (514) 466-4391 emilie.papillon@ville.montreal.qc.ca	Personne contact à la DEEU pour info, coordination, etc.
Alain Charron	Ville de Montréal	Chef de projet – Plan directeur, Direction de l'épuration des eaux, Service de l'eau, VdeM (514) 280-9297 / (514) 880-9171 (cell) alain.charron@ville.montreal.qc.ca	Personne contact en suppléant de Mme Papillon
Marie Dugué	Ville de Montréal	Conseillère aux normes, Division de la gestion durable de l'eau, Direction des réseaux d'eau, Service de l'eau (514) 872-2729 / marie.dugue@ville.montreal.qc.ca	Point de contact au service de l'eau pour la gestion des eaux de ruissellement, eaux souterraines
Stéphan Gagnon	TEQ	Coordonnateur service d'accompagnement technique (418) 627-6379 # 8024 stephan.gagnon@teq.gouv.qc.ca	Entente BEI - subvention
Patrick Gravel	Collège Ahuntsic	Directeur des ressources matérielles 514 389.5921 #2300 Patrick.Gravel@collegeahuntsic.qc.ca	Données énergétiques collège Ahuntsic
Yannick Guenette	École Dominique Savio	Responsable immeuble yannick.guenette.ccsmtl@ssss.gouv.qc.ca	Données énergétiques pour l'École Savio
Paulo Cerqueira	Complexe Claude Robillard	Gestionnaire immobilier 514 894-4119 paulo.cerqueira@montreal.ca	Données énergétiques complexe Robillard et aréna Normandin

Annexe 2 : Pourquoi un réseau thermique ? Avantages et objectifs - Généralités

Qu'est-ce qu'un réseau thermique ?

Un réseau thermique (RT), encore appelé réseau urbain de chaleur et de froid, ou par défaut réseau de chaleur, est une installation de production et de distribution d'énergie thermique (chaud et froid) alimentant plusieurs clients. La chaleur est produite via une ou plusieurs chaufferie(s) et est transportée via un système de canalisations qui constitue le réseau en tant que tel. La figure 1 montre un exemple d'implantation.

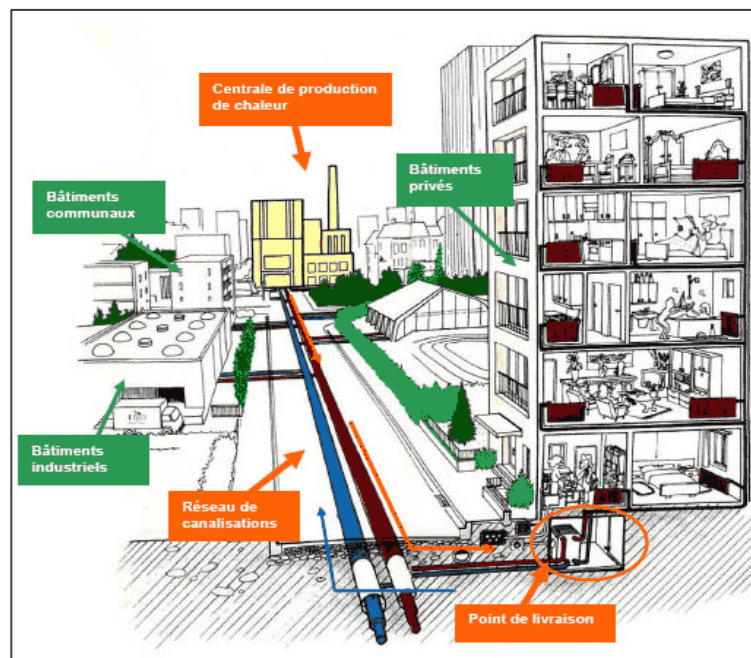


Figure 1: Réseau thermique (Ville de Bourges, Fr)

L'énergie transportée sert ainsi au chauffage des bâtiments clients du réseau, mais aussi à l'eau chaude domestique (ou eau chaude sanitaire). Dépendamment du type de réseau installé, le réseau peut aussi alimenter en froid à des fins de climatisation.

Les réseaux peuvent également alimenter des besoins commerciaux, mais aussi industriels créant ainsi l'opportunité de valoriser les rejets thermiques d'origines industrielle et commerciale.

Un réseau, tel qu'illustré à la figure 1, se décrit selon trois segments :

1- La centrale thermique (aussi appelée la chaufferie ou la centrale de production).

En fonction du ou des systèmes installés, il peut y avoir une ou plusieurs unités de production d'énergie par réseau.

Il y a beaucoup de sources d'énergie pour alimenter la ou les centrales. Nous les classons en trois catégories :

- Les énergies classiques : gaz naturel, charbon, diesel, fioul, les cogénérations (chaleur et électricité), les trigénérations (électricité, chaleur, froid, combinés)
- Les énergies renouvelables (EnR) : solaire, biomasse, géothermie, hydrothermie, aérothermie, etc.
- Les rejets thermiques (ou énergies fatales) : biogaz issu de biométhanisation, chaleur des incinérateurs, rejets industriels, effluents liquides de type égouts, chaleur issue des centres de données.

2- Le réseau (ou les canalisations de transport et de distribution)

C'est la partie enterrée du chauffage urbain. Le réseau souterrain transporte un liquide caloporteur (de l'eau chaude ou de la vapeur, les températures allant de 180°C pour les premiers réseaux à 25-30°C aujourd'hui) vers le client qui renvoie en retour l'eau refroidie vers la centrale qui la réchauffe. Il s'agit donc d'une boucle fermée.

Il y a deux segments dans le réseau de distribution :

- Le réseau primaire qui est la partie du réseau transportant la chaleur de la centrale jusqu'aux points de livraison aux bâtiments
- Le réseau secondaire qui est la partie interne aux bâtiments (transport de la chaleur du point de livraison jusqu'aux logements (normalement de la responsabilité du propriétaire du bâtiment)).



Crédit : energieplanete.fr

3- Les sous-stations (points de livraison, annexe 4)

Les sous-stations sont les interfaces entre le réseau primaire et secondaire (bâtiment). Ils permettent, au-delà de transférer la chaleur, d'adapter le débit et la température aux besoins des utilisateurs et aussi, de comptabiliser la chaleur fournie, permettant la facturation.

Les sous-stations sont donc névralgiques et font souvent l'objet d'un contrôle (réglementation) par les pouvoirs publics afin d'assurer une synergie opérationnelle entre leurs équipements et le réseau primaire.

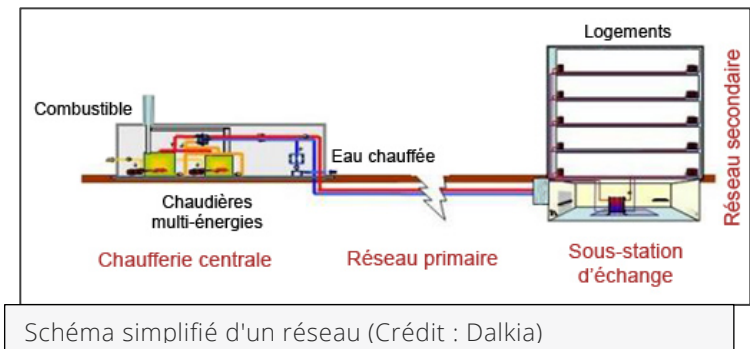


Schéma simplifié d'un réseau (Crédit : Dalkia)

Le réseau thermique est donc un système de chauffage à l'échelle urbaine par opposition au chauffage à l'échelle décentralisée des bâtiments où la chaleur est produite au niveau ou à proximité immédiate du bâtiment.

Avantages potentiellement offerts par un réseau de chaleur

Le type et les éléments de conception du réseau thermique dépendront du ou des objectifs désirés et fixés en amont ainsi que de la stratégie à long terme nécessaire à adopter pour maximiser, rentabiliser et viabiliser l'infrastructure.

La littérature est explicite sur le sujet. Les réseaux thermiques offrent de multiples avantages qui peuvent et doivent servir des objectifs à atteindre. Nous énumérons ici les principaux avantages classiquement cités :

- Réduction des émissions de GES et recherche d'une carboneutralité où sont considérées :
 - Production d'énergies renouvelables ou utilisation d'énergie primaire déjà décarbonée (hydroélectricité);
 - Valorisation de rejets thermiques qui remplace en partie ou en totalité les besoins énergétiques autrement alimentés par des énergies fossiles (gaz pour les chaudières);
 - Baisse des consommations énergétiques primaires atteintes grâce aux mesures de conservation et d'efficacité énergétique sur les bâtiments « clients » du réseau et par les effets de mutualisation;
 - Diminution drastique des besoins en frigorigène utilisé pour la climatisation (fort PRG et PDO).
- Amélioration de la qualité de l'air (intérieur et extérieur) où sont considérées :
 - Réduction de l'utilisation des énergies fossiles;
 - Lutte aux îlots de chaleur par la valorisation des rejets thermiques;
 - Plus grande efficacité dans les bâtiments pouvant générer une meilleure qualité de l'air intérieur
- Grande efficacité énergétique où sont considérés :
 - Niveau minimal d'efficacité énergétique des bâtiments « clients » à atteindre pour assurer viabilité et rentabilité des réseaux (l'investissement en efficacité énergétique devient prépondérant);
 - Valorisation des rejets thermiques (mesure d'efficacité énergétique);
 - Synergie entre les diverses sources de production et de consommation de chaleur.
- Utilisation de ressources énergétiques renouvelables et locales où sont considérées :
 - Récupération d'énergie (valorisation des rejets thermiques)
 - Aérothermie, hydrothermie fluviale
 - Énergies renouvelables (solaire, géothermie, etc.)

- Résilience, génie urbain et adaptation aux changements climatiques où sont considérés :
 - Résistance aux chocs et aux perturbations vécus par les réseaux énergétiques principaux (sécurité énergétique, stabilité des réseaux principaux qui sont « secondés » dans leurs tâches)
 - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles
 - Évolution du bouquet énergétique du quartier sans intervention dans les bâtiments ni les rues
 - Opportunités et synergies (chauffage des trottoirs et des chaussées, galerie multiréseaux)
 - Instrument de lutte contre la pointe électrique (meilleure stabilité du réseau de distribution)
- Création d'une économie verte, modernisation des infrastructures urbaines où sont considérés :
 - Lutte contre la pointe évite des investissements massifs en infrastructures de puissance
 - Un réseau est évolutif à deux niveaux :
 - D'autres sources d'énergies renouvelables peuvent être greffées au réseau à mesure des évolutions technologiques (réseau dynamique)
 - Le réseau peut s'agrandir de manière organique au fur et à mesure des futurs développements
 - Création d'emploi à forte valeur ajoutée (ingénierie, gestion, finance)
 - Création de richesse (revenus sur la vente d'énergie, revenus de taxes locales, etc.) Le rendement financier derrière la création de richesse sera impacté par les contraintes apposées au projet.
- Tarification avantageuse (ce qui aura un impact sur la rentabilité de l'infrastructure) où sont considérées :
 - Lutte contre une précarité énergétique;
 - Attractivité ciblée sur le territoire desservi
- Avantages connexes et subsidiaires où peuvent être considérés :
 - Moins d'entretien pour les gestionnaires d'immeubles
 - Libération d'espaces dans les bâtiments (salles mécaniques, toit)

Revue des pratiques

Les réseaux thermiques dans le monde

L'Europe compte environ 4 500 réseaux thermiques alimentant près de 100 millions de personnes dans 32 pays, ce qui représente près de 10 % du marché du chauffage. À l'échelle mondiale, on parle de plus de 80 000 réseaux thermiques assurant près de 3 293 TWh de besoins utiles en 2016. Il est question de plus de 600 000 km de canalisation dont la majorité est pour des réseaux de 1^{ère} ou 2^e génération fonctionnant aux énergies fossiles (fioul, gaz), ne répondant plus aux nouveaux standards d'efficacité climatique.

On retrouve principalement les réseaux thermiques dans les centres urbains, mais une tendance à la diminution de leur taille est observée, en particulier grâce à l'essor des énergies renouvelables et du déblocage de fonds nationaux en guise de stratégie de transition énergétique et de lutte aux changements climatiques.

Au Canada, seulement 1,3 % de la surface bâtie du pays est couverte par un réseau, et ce, principalement à Vancouver, Toronto, Ottawa et Montréal. Montréal dispose du plus ancien et plus gros réseau Nord-Américain (ECCU, anciennement CCUM). Un projet de boucle thermique est en cours de conception pour le nouvel écoquartier Angus Montréal. Comparée au ECCU, cette boucle serait plus proche d'une 3^e génération, mais utilise encore une énergie fossile (gaz naturel) en intrant pour couvrir les besoins en situation de pointe.

Les réseaux de froid sont en pleine effervescence à l'échelle mondiale afin de couvrir les besoins grandissant en climatisation. Ces besoins remplis de manière décentralisée (par bâtiment) ont un impact considérable sur les réseaux électriques et sur le climat du fait de l'utilisation des liquides frigorigènes ayant un gros impact climatique (PRG), ce qui est l'inverse dans le cas d'une approche centralisée.

Évolution des réseaux et des technologies

L'évolution des pratiques et des technologies, surtout en matière de production d'EnR et de récupération de chaleur, permettent une catégorisation simple des types de réseaux que nous pouvons rencontrer (voir annexe 3).

Les principales technologies de production énergétique dans les centrales restent liées aux énergies fossiles (90 %), mais la proportion d'EnR est en forte croissance. Les autres sources retrouvées sont la valorisation de la chaleur issue d'incinérateurs ou de l'industrie, l'énergie solaire thermique, l'énergie géothermique, et les biocombustibles.

L'évolution des réseaux dans le temps se traduit par :

- Une efficacité énergétique des « têtes de réseaux » (des clients) qui augmente nettement traduisant une gestion accrue de la demande (conservation, efficacité, contrôle).
- Une nette diminution des températures du fluide caloporteur (souvent de l'eau) permettant de fortes économies en coût d'implantation (tuyaux moins isolés, moins d'attention sur les pertes énergétiques).
- Une multiplication des sources énergétiques pour alimenter la ou les centrales thermiques.

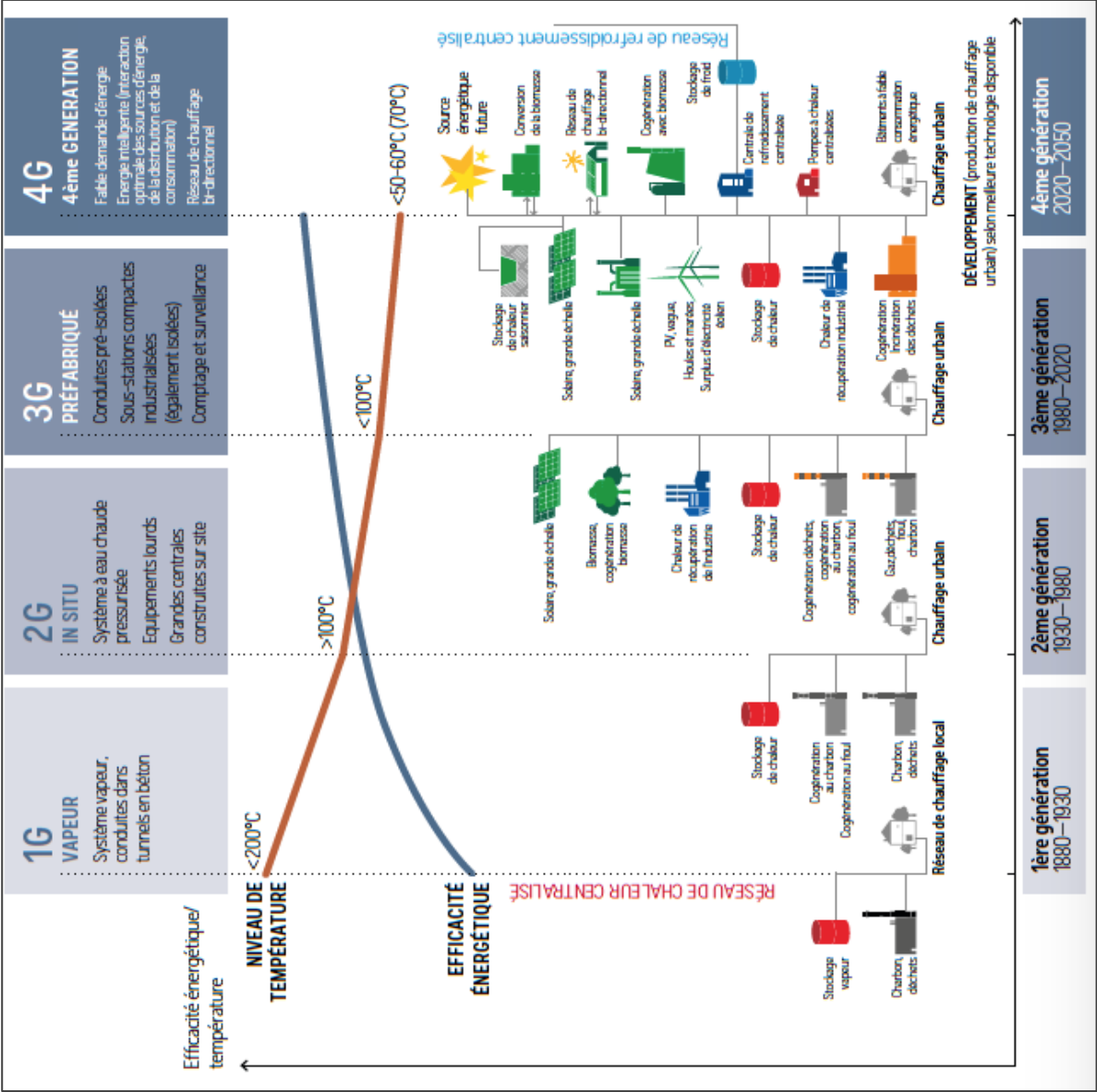
Cette évolution se traduit par des risques opérationnels qui diminuent (en particulier lors du passage de la vapeur à l'eau chaude), par une nette diminution des pertes réseau, par une optimisation des coûts de distribution, et par une nette diminution des coûts de construction.

La baisse des températures du fluide caloporteur permet de valoriser des sources d'énergie de type chaleur fatale (ou rejets thermiques) pouvant parfois être de moins grande qualité et surtout d'intégrer ces nombreuses nouvelles sources de production d'énergie de plus basse qualité (aérothermie, géo/hydrothermie, solaire thermique).

Pour faire face à une littérature encore ambiguë pour différencier les 4^e et 5^e générations, nous précisons que (Polytechnique Montréal) :

- Les réseaux de 4^e génération (4^e G) ou réseau centralisé : réseaux avec une boucle d'eau chaude et d'eau froide (4 tuyaux) — température du caloporteur située entre 50 et 80 °C (boucle chaude), 4 et 8 °C (boucle froide).
- Les réseaux 5^e génération (5^e G) ou réseau décentralisé : réseaux avec une boucle d'eau dite mitigée (ou mélangée) (2 tuyaux) — température du caloporteur située entre 5 et 40 °C.

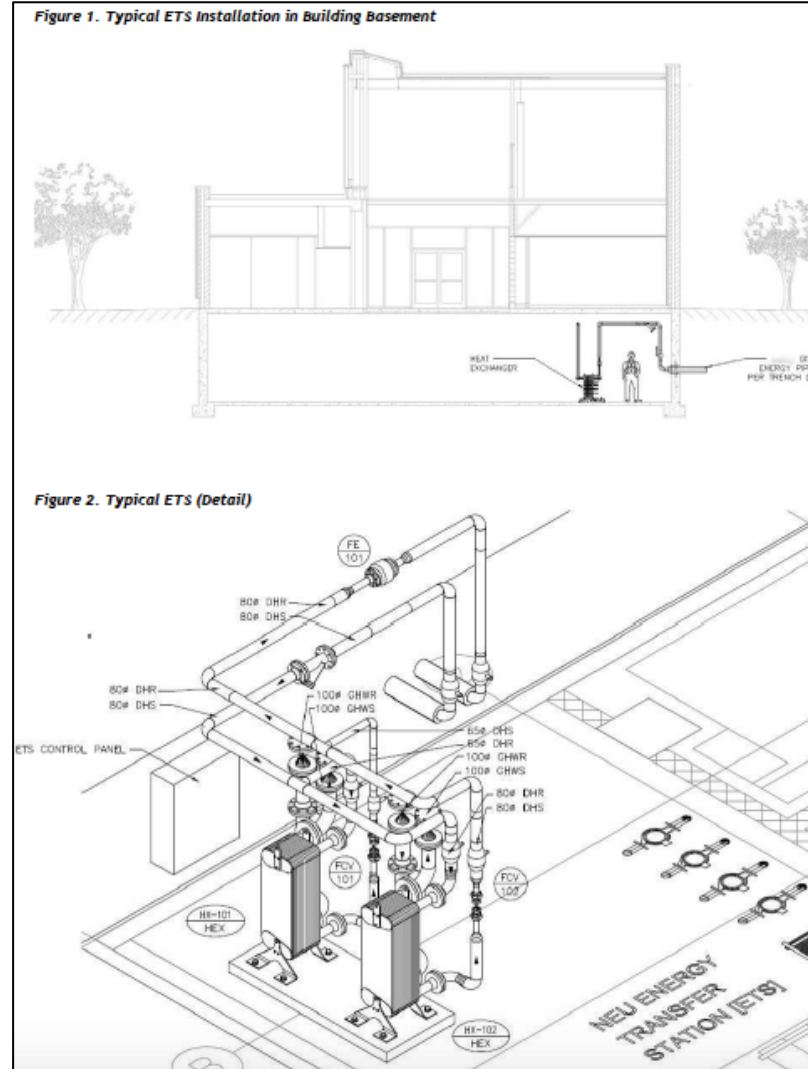
Annexe 3 : Évolution des réseaux thermiques



[2] – PNUE
Réseaux urbains de chaleur et de froid – Libérer le potentiel de l'efficacité
énergétique et des énergies renouvelables, PNUE, 2015, 138p

Annexe 4 : Schémas de sous-stations

Exemple de sous-station pour un
réseau centralisé ou 4^e
génération
(Crédit : Ville de Vancouver [4]-
Design Guidelines)

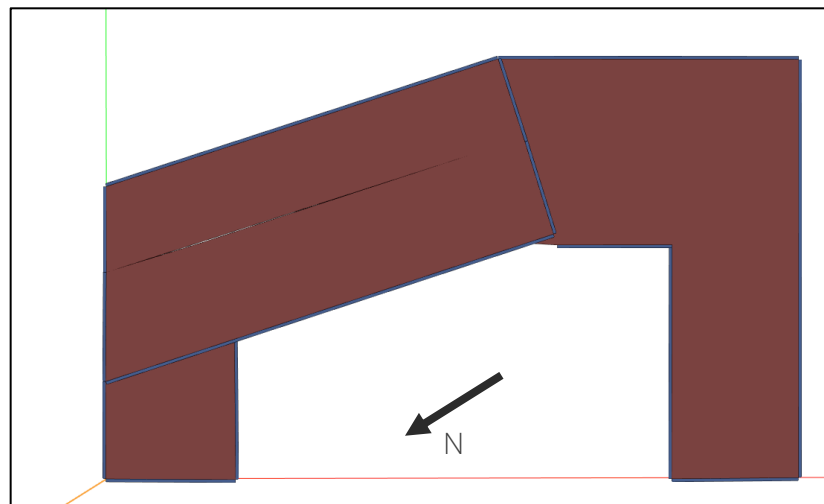


Annexe 5 : Données d'aménagement spécifiques au futur quartier Louvain
(source : Solidarité Ahuntsic)

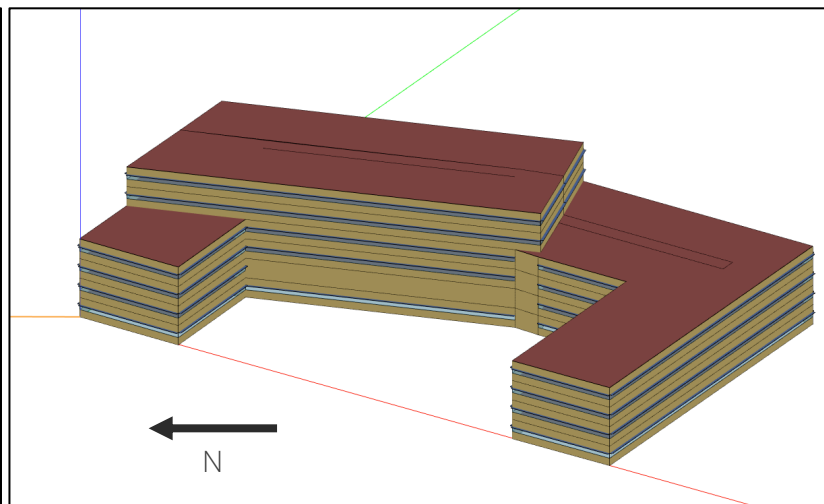
Louvain Est		m ²		pi ²	
2021-11-21		77.121,6		830.130	
Statistique-SP10		77.121,6		830.130	
Cadastre		m ²		pi ²	
Lot. 2 497 688		77.121,6		830.130	
TOTAL		77.121,6		830.130	
source: Ville de Montréal					
Superficie construite brute					
SOMMAIRE		Unites		Stationnement requis	
		Nb		Nb cases	
		%		Ratio	
Commercial		408		4.392	
		0,5%		2	
Institutionnel		9.542		102.769	
		11,2%		38	
Résidentiel		75.612		813.881	
		88,4%		336	
Total		85.562		920.892	
		100%		-	
Taux d'implantation sur le site					
Densité (gr./ha) - sur l'ensemble du site		108		41%	
COS global		118		-	
Scénario préférentiel SP-10					
Sup. Terrain		Bâtiment		Emprise bâtiment	
m ²		pi ²		m ²	
Lot				pi ²	
				Taux d'implantation %	
A		2.796		30.066	
				Résidentiel	
A1 (R1c à 4e étage)		900		9.688	
A1 (5e à 6e étage)		-		Résidentiel	
Sous-total A		2.796		30.066	
				32%	
B		4.439		47.781	
				Communautaire	
B1 (Sous-sol)		1.536		1.536	
B1 (R00)		1.236		13.304	
B1 (R00)		300		3.229	
Sous-total B		4.439		47.781	
				35%	
C		3.684		39.654	
				Résidentiel	
C1 (R1c à 4e étage)		1.076		11.992	
C1 (5e à 6e étage)		756		8.138	
C2 (R1c à 4e étage)		772		8.510	
Sous-total C		3.684		39.654	
				50%	
D		4.378		47.124	
				Ecole	
D1 (Ecole 1c à 2e étage)		1.044		11.238	
D1 (Ecole 3e à 4e étage)		1.524		16.404	
D1 (CPE)		480		5.167	
D1 (Gymnase)		500		5.382	
Sous-total D		4.378		47.124	
				46%	
E		3.779		40.677	
				Résidentiel	
E1 (R1c à 4e étage)		1.015		10.925	
E1 (5e à 6e étage)		756		8.127	
E2 (R1c à 4e étage)		760		8.181	
Sous-total E		3.779		40.677	
				47%	
F		4.289		46.166	
				Résidentiel	
F1 (R1c à 4e étage)		1.015		10.925	
F1 (5e à 6e étage)		756		8.138	
F2 (R1c à 3e étage)		844		9.086	
Sous-total F		4.289		46.166	
				43%	
G		3.635		39.127	
				Résidentiel	
G1 (R1c à 4e étage)		999		10.753	
G1 (5e à 6e étage)		756		8.138	
G2 (R1c à 3e étage)		760		8.181	
Sous-total G		3.635		39.127	
				48%	
H		3.559		38.309	
				Résidentiel	
H1 (R1c à 4e étage)		952		6.049	
H1 (Commence)		408		4.392	
H1 (2e étage)		970		10.441	
H1 (3e à 6e étage)		756		8.138	
H2 (cote 2 de 4e étage)		768		8.267	
Sous-total H		3.559		38.309	
				49%	
I		2.555		27.902	
				Résidentiel	
I1 (R1c à 4e étage)		936		9.967	
I1 (5e à 6e étage)		926		9.867	
Sous-total I		2.555		27.902	
				36%	
J		4.105		44.197	
				Communautaire	
J1 (R1c à 2e étage)		1.461		15.726	
Sous-total J		4.105		44.197	
				36%	
K		5.893		63.432	
				Résidentiel	
K1 (R1c à 4e étage)		1.164		12.929	
K1 (5e à 10 étage)		756		8.127	
K2 (R1c à 4e étage)		875		9.418	
Sous-total K		5.893		63.432	
				34%	
L		3.443		37.060	

Annexe 6 : Hypothèses de simulation de l'Écoquartier selon les scénarios « Business as usual » (BAU) et « Bâtiment à carbone zéro » (BCZ)

Afin de modéliser les bâtiments résidentiels en respectant l'archétype précisé pour le projet, le bâtiment type est représenté comme sur les deux figures qui suivent.



Vue de dessus du bâtiment modélisé



Vue orthographique du bâtiment modélisé

Dans les deux scénarios, le bâtiment a les caractéristiques suivantes :

Nombre d'étages :	6
Superficie de plancher :	8 980 m ²
Ratio de fenestration aux murs opaques :	24 %
Fonction :	résidentielle
Orientation :	240° (sens horaire)

Aussi, toutes les fenêtres sont munies de pare-soleil ayant une longueur égale à la moitié de la hauteur de la fenêtre (angle de 63,4° avec le sol), ce qui assure une protection complète contre le rayonnement solaire sur les fenêtres orientées plein sud lorsque le soleil est à son zénith le 21 juin (élévation de 68°).

Les caractéristiques de l'enveloppe varient en fonction du scénario, tel que détaillées au tableau qui suit. Les caractéristiques du BAU reposent sur le code en vigueur à compter du 27 décembre 2021 alors que les caractéristiques du scénario BCZ sont choisies de manière à assurer l'atteinte de la certification Bâtiment Carbone Zéro, laquelle nécessite une performance d'enveloppe exemplaire. Il est néanmoins possible d'aller plus loin au niveau de la performance au moment de la conception.

Tableau 5 : Caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment selon les deux scénarios

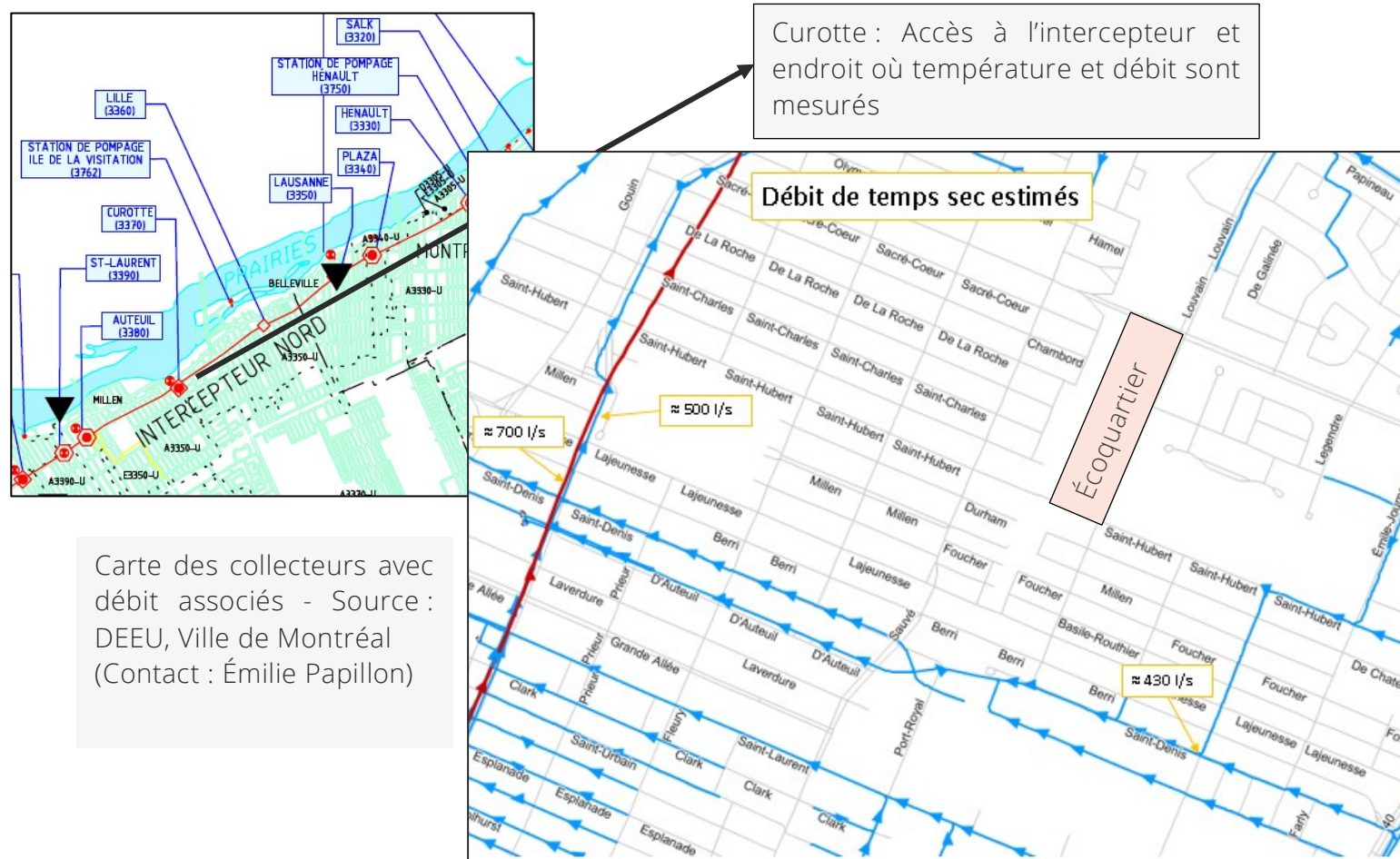
Caractéristique	BAU	BCZ
Murs hors sol	3,60 (R-20,4)	4,72 (R-26,8)
Toits	5,46 (R-31,0)	7,35 (R-41,8)
Dalle	1,76 (R-10,0)*	3,52 (R-20,0)
Fenêtres & portes avec fenêtre	$U_{\text{global}} = 2,0$ (R-2,84)	$U_{\text{global}} = 1,0$ (R-5,68)

* Sur 1,2 m de largeur au périmètre des planchers en contact avec le sol

Pour le scénario BAU, le chauffage des locaux est réalisé à l'aide de plinthes électriques (rendement = 100%) alors que la production d'ECD est centralisée et réalisée à l'aide de bouilloires au gaz naturel avec un rendement de 90% (on suppose des modèles efficaces à condensation). La climatisation repose sur des appareils de type mini-split sur une base individuelle (un par logement).

Pour le scénario BCZ, le gaz est complètement exclu du quartier, sauf pour les appareils d'urgence.

Annexe 7 : Carte du réseau d'égouts dans le secteur à l'étude et analyse



Pour information, le réseau d'égout montréalais peut se catégoriser en trois segments qui s'apparentent à un jeu de déversoirs fonctionnant essentiellement de manière gravitaire :

- Le réseau local représente le sous-réseau de raccordement de l'égout aux bâtiments.
- Les collecteurs représentent le sous-réseau où se déversent les effluents du réseau local et les eaux de ruissellement. Ils ont différents diamètres fonction du débit et du caractère unitaire/séparatif

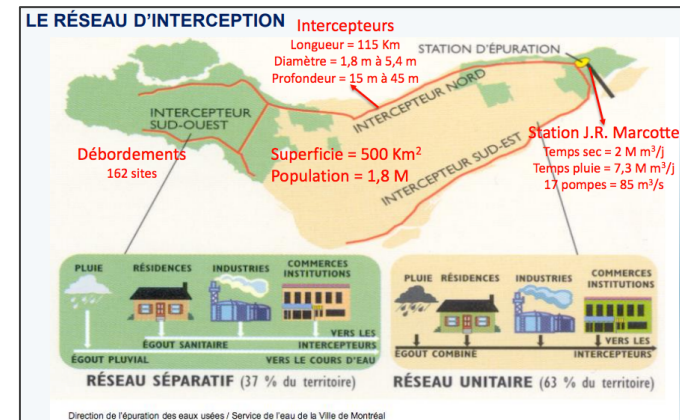
- Les intercepteurs constituent le sous-réseau dans lequel se déversent les collecteurs. D'un diamètre allant jusqu'à 4 m, ils sont situés à une profondeur d'environ 40 m dans le secteur à l'étude. Ils amènent les effluents à la station d'épuration de Montréal.

Analyse :

Pour l'intercepteur, la température de 2°C en hiver est assez faible bien que supérieure à la température ambiante en surface. Les températures sont fort probablement supérieures lorsque prises en amont des chutes à neige, mais nous n'avons pas cette information. Le débit est cependant largement suffisant pour entrevoir une exploitation du gisement.

Par ailleurs, la distance entre le futur quartier et l'intercepteur est approximativement 1km et la profondeur de l'intercepteur est d'environ 40m ce qui laisse présager des coûts de génie civil extrêmement important.

Pour le collecteur situé sur la rue Émile-Journault, nous sommes d'avis que la température minimale en hiver est sûrement proche des 8°C (potentiellement plus, mais cela dépend de la quantité de pluie captée par le collecteur). Par contre, le débit est insuffisant pour envisager une exploitation du gisement.

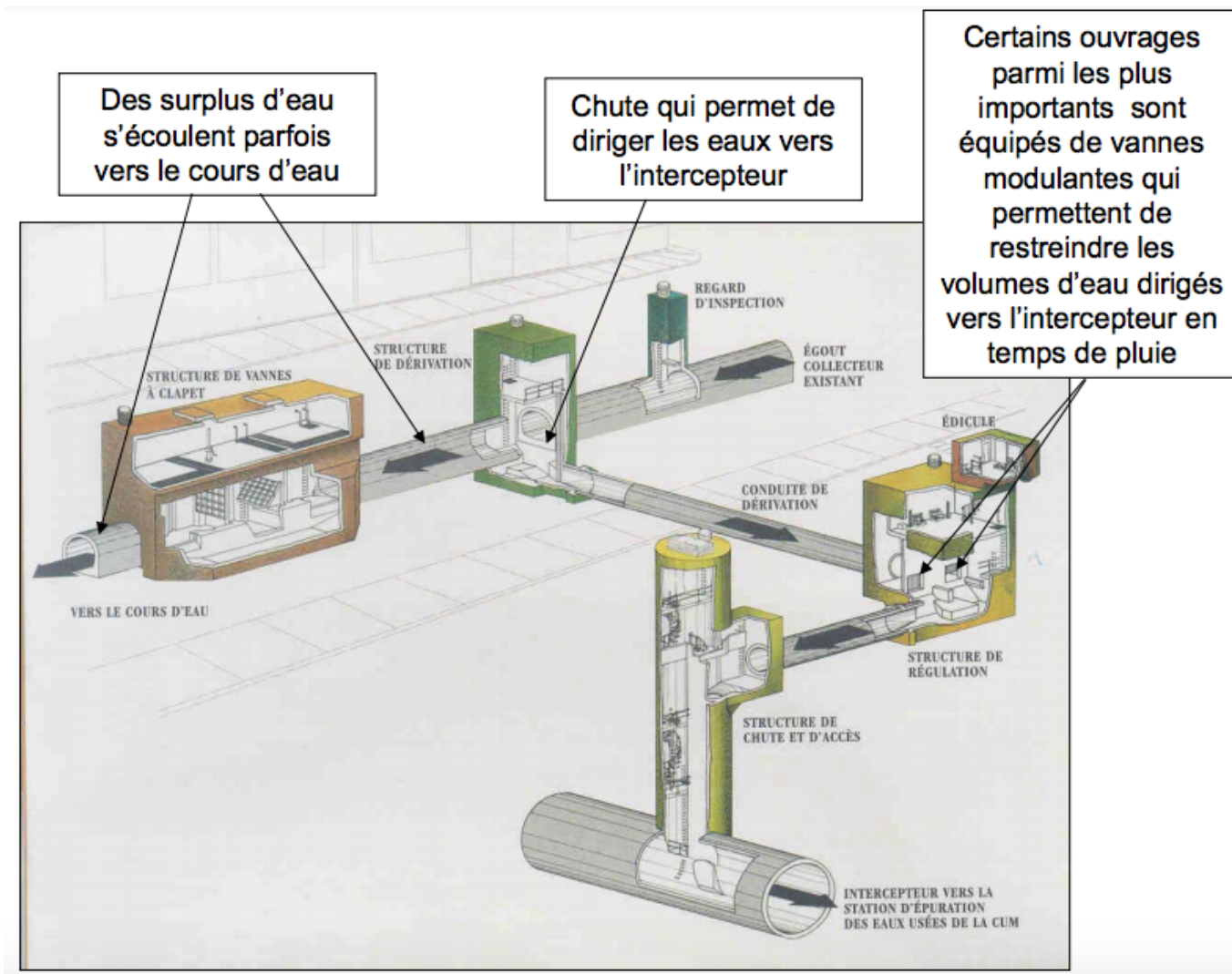


Aux fins d'analyse, nous avons basé les calculs sur la base d'une puissance minimale de 2 MW de l'équipement à installer afin d'être en mesure d'exploiter le gisement dans les effluents et de répondre aux besoins évalués. Pour cette puissance, considérant :

- un système mécanique de type échangeur thermique (effluent / eau)
- un coefficient global de transfert de maximum 500 W/m² °K
- ΔT d'environ 5°C entre effluent et eau
- des tuyaux d'eau de 1po de diamètre à 0,1 m²/m de longueur

nous aurions besoin d'une surface d'échangeur d'approximativement 800 m² soit plus de 8 km de tuyau à installer accolés à l'égout considéré.

Annexe 8 : Composition du réseau d'égout de Montréal



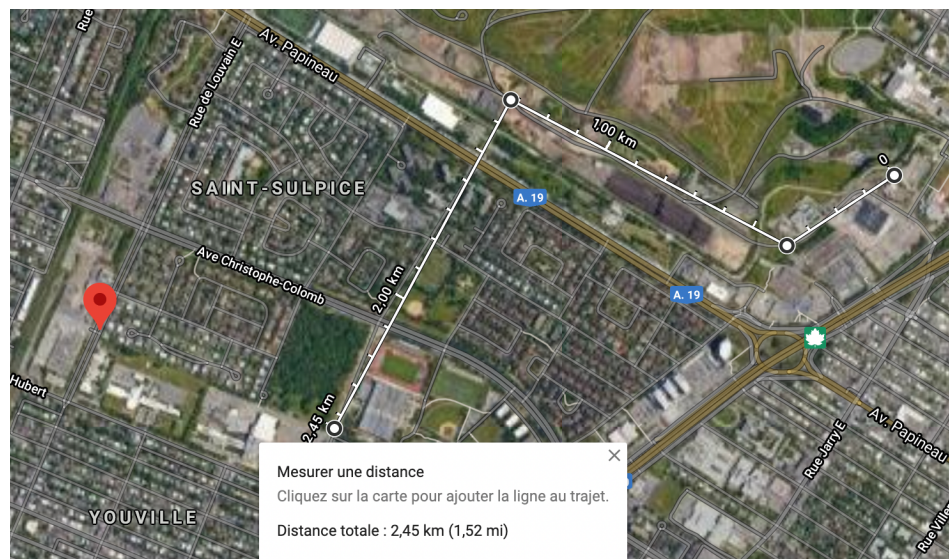
Source : Ville de Montréal

<http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?pageid=6497,54389572&dad=portal&schema=PORTAL>

Annexe 9 : Caractérisation du résiduel thermique de la centrale Biomont

Le potentiel thermique résiduel valorisable de la centrale de cogénération Biomont énergie est de 1 MW thermique. L'énergie thermique disponible est sous forme d'eau chaude à 90°C dont la température peut être abaissée à 70°C ($\Delta T^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}$) avant d'être retournée à la centrale de cogénération Biomont énergie sans préjudice aux procédés de production d'électricité. Compte tenu du potentiel énergétique et du $\Delta T^{\circ}\text{C}$ de 20°C envisagé, cette énergie thermique disponible se présente sous la forme d'un débit d'eau chaude haute température de 45 m³/heure (ou 750 litres/minute ou 12,5 litres/seconde ou 197 GUSPM)

Source : Mathieu Gillet, étude effectuée en 2018 pour la COOP Carbone et projet de serre agricole



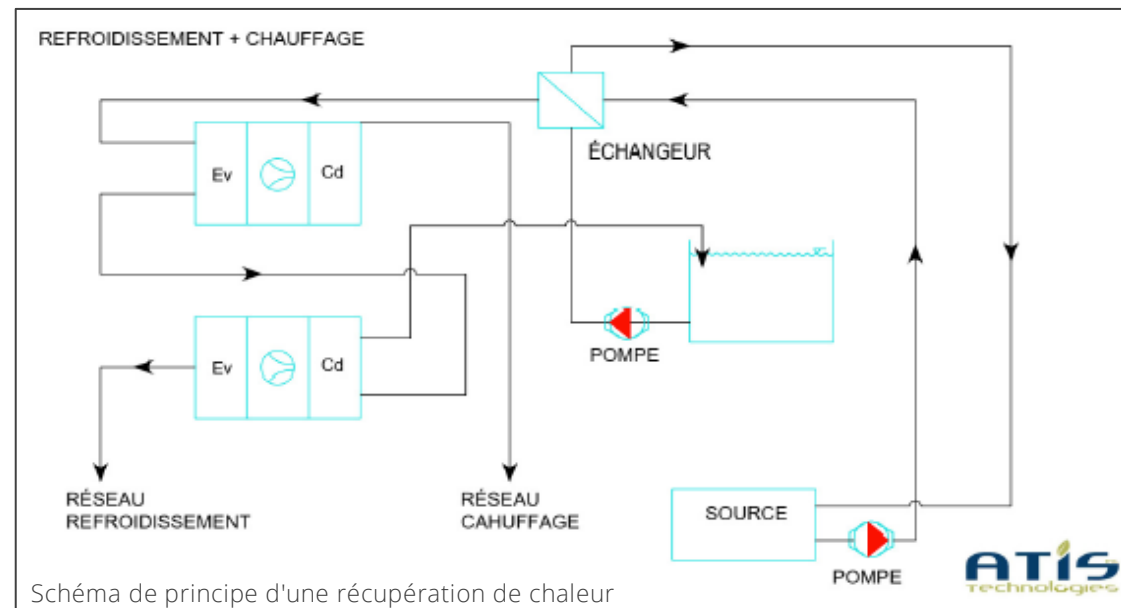
Est-ce que cette source est un potentiel à considérer ?

- Coût d'implantation de l'infra (loin – 2.45km de canalisation)
- Potentiel thermique intéressant 1MW
- Approvisionnement non résilient, car décomposition de la matière organique
- Implique un joueur différent privé
- Déjà un réseau de chaleur par cogénération donc le réseau pourrait prendre le relai en fin de production de gaz (deux clients : Cirque Soleil et Tohu)

Conclusion : Dans le cadre des scénarios proposés, cette source a été écartée. Par contre, dans un cadre d'expansion du réseau vers le parc Frédérique Back, cela devient intéressant de connecter cette source. Le réseau pourrait alors alimenter les entreprises de la zone commerciale qui longe le parc sur l'avenue Papineau.

Annexe 10 : Évaluation du potentiel thermique géothermique, aérothermique et hydrothermique – les principes

L'exploitation du potentiel thermique provenant des gisements identifiés (sol, eau, air) et visant à alimenter le réseau thermique se fera grâce à un système mécanique intégrant un échangeur de chaleur (indirect) qui alimentera ensuite des pompes à chaleur (PAC). Le schéma de principe du système mécanique est présenté ci-dessous.

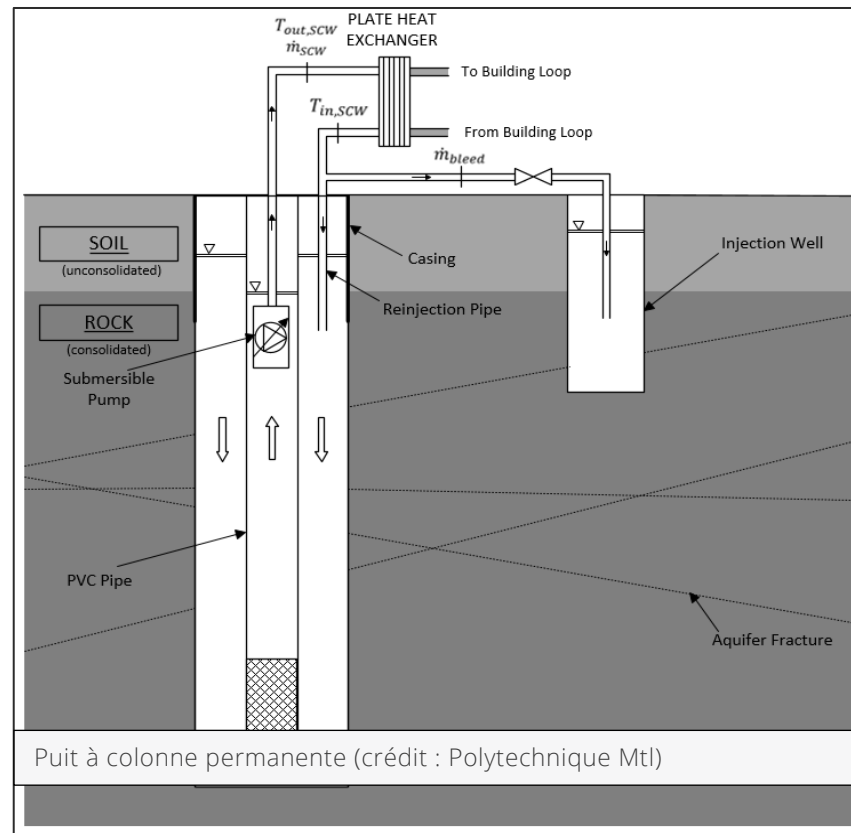


Les éléments à considérer dans l'évaluation du potentiel thermique pour répondre aux besoins en aval sur lesquels agir afin de maximiser le réseau et de calculer les coûts d'implantation sont les suivants :

- L'infrastructure permettant de capter une partie de l'énergie thermique contenue dans la source (gisement)
- Le système de pompage (fonctionnant à l'électricité)
- L'échangeur thermique qui transfère l'énergie du gisement considéré à un fluide caloporteur
- Le bassin tampon permettant de contrôler les écarts importants de température
- Les pompes à chaleur (incluant condenseur – Cd - et évaporateur - Ev) qui permettent d'amener la température du fluide caloporteur à la température désirée pour répondre aux besoins en énergie (chaud et/ou froid).

Annexe 11 : Fonctionnement de la géothermie à colonnes permanentes (PCP)

Les systèmes à PCP pompent l'eau souterraine d'un puits à sa base et réinjectent par la suite une partie ou la totalité de cette eau à son sommet une fois l'échange de chaleur effectué.



Ceux-ci présentent une meilleure efficacité thermique que les systèmes à boucle fermée verticale, et ne sont pas restreints à de conditions hydrogéologiques exceptionnelles comme les systèmes à boucle ouverte. De plus, durant les périodes de grande demande énergétique, les systèmes à PCP peuvent créer un apport d'énergie supplémentaire en forçant l'infiltration d'eau souterraine dans le puits. Cette opération, appelée saignée, améliore momentanément l'efficacité thermique de l'échangeur de chaleur souterrain - ECS. Cela permet donc de réduire considérablement la longueur et par conséquent les coûts de construction de l'ECS.

Des études menées par l'American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ont montré que la taille de l'échangeur géothermique pouvait être de l'ordre de 49 % à 78 % inférieure avec des systèmes à PCP, comparativement à des systèmes en boucle fermée verticale de puissance comparable.

Annexe 12 : Caractérisation du gisement énergétique de la Rivière-des-Prairies

L'hydrothermie repose sur les mêmes principes que la géothermie et l'aérothermie. Il s'agit d'exploiter le potentiel thermique (chaud et froid) de l'effluent en :

- 1- Captant la chaleur ou le froid par un échangeur de chaleur idéalement situé proche de la source
- 2- En amenant la température du fluide caloporteur à température désirée pour soit chauffer soit refroidir les installations branchées sur le réseau thermique.

Deux types de données sont nécessaires pour l'évaluation du gisement et la détermination du potentiel exploitable :

- Données de température annualisées en profondeur dans le fleuve
- Les débits sur une base annuelle

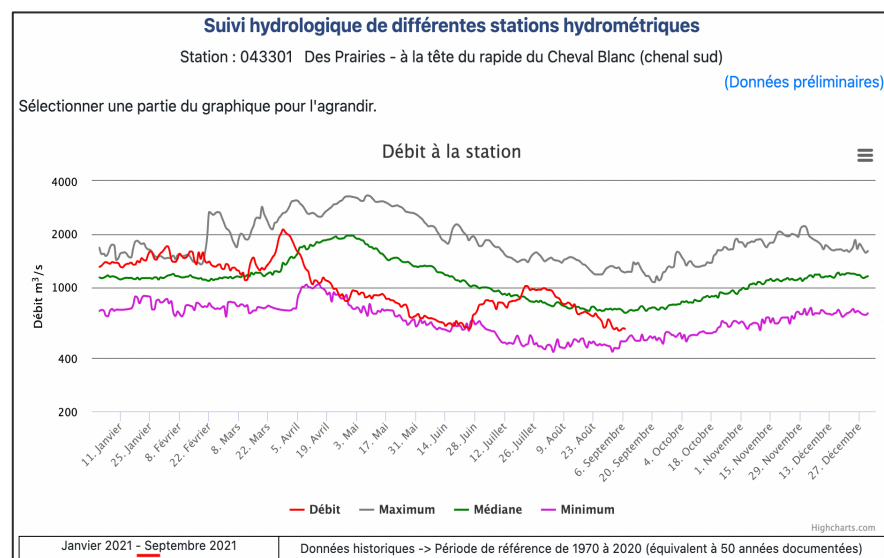
Informations et données recueillies :

Selon le site de suivi hydrologique du Gouvernement du Québec, le minimum de débit mesuré au cours de l'année se chiffre à 400 m³/s.

Nous ne possédons pas de données sur la température. Une demande a été effectuée auprès du ministère de l'environnement du Québec (Centre d'expertise hydrique du Québec), mais sans réponse en date du 15 octobre 2021.

Afin de palier ce manque de données, nous partons du principe que la rivière ne gèle pas en profondeur et avons pris les mêmes températures que celles utilisées dans le cadre de l'étude sur les réseaux thermiques élaborée pour l'arrondissement Ville-Marie de la ville de Montréal [1] soit :

- La plage de température [1.5°C – 25°C] a été retenue.



Source : www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=043301

Analyse :

Selon le débit minimum de 400 m³/s, la hausse de température de l'eau suite à la dissipation de 5 MW équivaldrait à une hausse de température de 0,003 °C

$$\text{Calcul de } \Delta T : \Delta T = \frac{P}{\dot{m} \times c_p} = \frac{5\,000\,000\text{W}}{400\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4186\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}} = 0,003^\circ\text{C}$$

Observation : Pour tout Montréal, la puissance nécessaire pour un réseau thermique ne dépassera pas 1 GW ce qui, pour un débit de 400 m³/s va représenter une variation de température de 0,6°C.

Avantages et Contraintes :

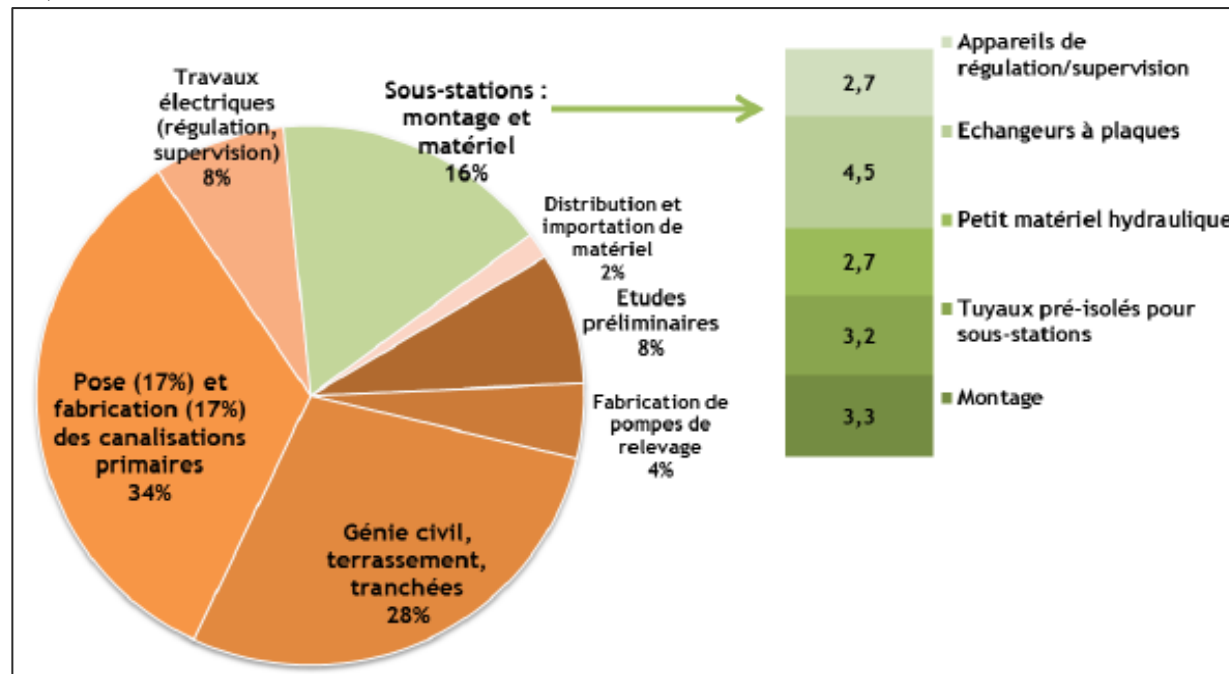
- La rivière comme le fleuve sont une source illimitée et très résiliente permettant une production énergétique propre, décarbonée et avec un impact très faible sur l'environnement et les écosystèmes. Il y a un potentiel majeur de décarbonisation et de résilience pour la ville de Montréal à considérer le fleuve et la rivière comme gisements énergétiques.
- Cette ressource permettrait un développement organique du réseau thermique, ce qui pourrait aider à la viabilité financière du projet en plus en plus d'aider à la transition énergétique de la Ville de Montréal.
- Un gisement exploité par la Rivière-des-Prairies permettrait de connecter d'autres bâtiments non étudiés sur le réseau comme l'école Sophie-Barat qui fait l'objet de travaux de rénovation majeurs en planification.
- Le fleuve Saint-Laurent reçoit déjà des effluents de procédé industriel sous forme de rejet d'eau chaude avec le secteur industriel de l'est de l'Île de Montréal.
- Il y a une distance de 1.5 km entre le futur écoquartier et la rivière ce qui représente un coût élevé en génie civil. Ce coût n'a pas été évalué avec précision, mais sur la base d'un coût moyen.
- Il y a un enjeu d'acceptabilité sociale et de perception de la population concernant « l'exploitation » du fleuve à des fins énergétiques alors que l'énergie peut avoir une connotation « sale » dans l'imaginaire collectif. Cela peut donc être politiquement difficile de porter le dossier, et ce, malgré le très faible impact escompté sur l'écologie de la rivière.

Annexe 13 : Répartition des coûts par éléments d'un réseau thermique

Nous renseignons ici la distribution des différents coûts liés à l'implantation et l'exploitation d'un réseau thermique. Les données proviennent de l'étude de la filière réseau thermique élaborée par l'ADEME en France en 2018 [3]. Il s'agit de moyennes.

Ces coûts sont ceux du réseau faisant abstraction des coûts reliés à la production d'énergie thermique dans la centrale. Ceux-ci sont dépendants de la source d'énergie et/ou du combustible utilisé.

Répartition des CAPEX selon les éléments de l'infrastructure (Source : ADEME, 2018 [4])



Chaque projet de réseau aura ses propres spécificités qui pourront permettre de « jouer » sur certaines dépenses afin de les réduire. P.ex., des travaux de génie civil prévus sur un boulevard ou une rue, le choix d'équipements...

Annexe 14 : Détails de l'entente EBI entre le gouvernement fédéral et provincial

EBI	Critères d'admissibilité	Répartition financière selon le type de porteur du projet
• Subvention non-normée, et non un programme. • Enveloppe de + de 200 M\$ provenant du fédéral et réservée à des projets de valorisation de rejets thermiques (VRT) et le développement de projets dans le Grand Nord. Pour la VRT, ce montant vise à financer les infrastructures. • Versements 2 x / an sur présentation des factures avec rapport d'état des résultats. • Le cadre de gestion est sur le point d'être réglé. • TEQ lance un appel à projets début octobre	• Étude de faisabilité • Analyse GES • Résiliences aux changements climatiques • Minimum de 90 % de l'énergie transportée doit être de la VRT : > Possibilité de conjuguer les gisements thermiques. Ex : 70 % rejets centre de données + 20 % rejets eaux usées. Possibilité de récupérer la chaleur des bâtiments, mais cette énergie est trop faible pour représenter le 90 % nécessaire. > Le 10 % restant peut-être de source fossile (Gaz) ou renouvelable (géothermie / biomasse forestière). TEQ est favorable à prioriser les énergies renouvelables.	M/O > Fédéral : 50 %
		Municipalité > Fédéral : 40 % > Provincial : 33 % - obligatoire pour avoir le 40_% du Fédéral
		OBNL > Fédéral : 40_% > Pas d'obligation provinciale
		Entreprise privée et qui desservira une clientèle publique > Fédéral : 25_%

